

Aus der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
der Universität zu Lübeck

Direktorin: Prof. Dr. med. B. Wollenberg

und

aus der Sektion für Phoniatrie und Pädaudiologie
der Universität zu Lübeck

Leitung: Prof. Dr. med. R. Schönweiler

Betreuer: Priv.-Doz. Dr. med. J. Löhler

**Adaptive Messung des Freiburger Einsilbertests im
Störschall bei normalhörenden Probanden und Vergleich
der Ergebnisse mit dem Oldenburger Satztest**

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Universität zu Lübeck

-Aus der Sektion Medizin-

vorgelegt von

Tobias Bastian Memmeler

aus Böblingen

Lübeck 2018

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Jan Löhler

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Wolfgang Heide

Tag der mündlichen Prüfung: 16.08.2019

zum Druck genehmigt. Lübeck, den 16.08.2019

-Promotionskommission der Sektion Medizin-

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
1.1 Entwicklung der Ton- und Sprachaudiometrie	4
1.2 Der Freiburger Sprachtest.....	11
1.3 Der Oldenburger Satztest	15
1.4 Diskussion um den Freiburger Sprachtest	19
1.5 Hypothesen	22
2. Material und Methoden.....	23
2.1 Probandinnen und Probanden	23
2.2 Geräte und Software	23
2.3 Ablauf der Messungen	24
2.3.1 Tonaudiometrische Messung.....	25
2.3.2 Adaptive Messung des Freiburger Einsilbertests im Störschall.....	26
2.3.3 Durchführung des Oldenburger Satztests im Störschall.....	30
2.4 Statistische Auswertung	31
3. Ergebnisse	32
3.1 Zeitbedarf	32
3.2 Einfluss der Präsentationsreihenfolge.....	33
3.2.1 Einfluss auf den Oldenburger Satztest im Störschall	33
3.2.2 Einfluss auf den adaptiven Freiburger Einsilbertest im Störschall.....	34
3.3 Geschlechtsspezifische Unterschiede	35
3.3.1 Ergebnisse des Oldenburger Satztests im Störschall	35
3.3.2 Ergebnisse des adaptiven Freiburger Einsilbertests im Störschall.....	36
3.4 Vergleich der Signal-Rausch-Abstände	37
3.4.1 Korrelation der Signal-Rausch-Abstände	38
4. Diskussion.....	39
4.1 Studiendesign	39
4.2 Zeitbedarf	40
4.3 Einfluss der Präsentationsreihenfolge und des Geschlechts	42
4.4 Vergleich der Signal-Rausch-Abstände	44
4.5 Bedeutung für die klinische Praxis	45
5. Zusammenfassung	49
6. Literaturverzeichnis.....	50
7. Abkürzungsverzeichnis	60

8. Anhänge	61
8.1 Erklärung der Ethik-Kommission	61
8.2 Probandeninstruktionen	63
8.2.1 Instruktion zur adaptiven Messung des Freiburger Einsilbertests	63
8.2.2 Instruktion für den Oldenburger Satztest.....	63
8.3 Benötigte Funktionen in der Excel-Tabelle	65
9. Danksagung	69
10. Lebenslauf	70

1. Einleitung

1.1 Entwicklung der Ton- und Sprachaudiometrie

Die Anwendung der Sprachaudiometrie in Kombination mit der Tonaudiometrie erstreckt sich gegenwärtig von der Begutachtung nach Lärmexposition [7] und der Verlaufskontrolle von Operationen [85], über die Erforschung und Weiterentwicklung von Hörgeräten [56] oder möglichen Screening-Methoden [43], bis hin zur Diagnostik einer Schwerhörigkeit und Indikationsstellung von Hörhilfen [117]. Neben der ergänzenden Anwendung des standardisierten APHAB-Fragebogens (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit) zur Ermittlung des subjektiven Hörvermögens, sind die Sprach- und Tonschwellenaudiometrie für die Indikationsstellung der Hörgeräteversorgung unverzichtbar [117].

Die Entwicklung der Sprach- und Tonschwellenaudiometrie begann Anfang des 19. Jahrhunderts, nachdem erste Therapieversuche zur Behandlung der Schwerhörigkeit unternommen wurden. Ziel war es, den Grad der Hörminderung beziffern zu können, um auf diese Weise den Erfolg der Therapie zu dokumentieren [28]. Dabei galt es sowohl praktische Hürden zur Umsetzung zu überwinden, wie beispielsweise durch die Weiterentwicklung des Phonographen zum Grammophon im Jahr 1878 [34], als auch grundlegende wissenschaftlich theoretische Erkenntnisse zu erlangen, wie die Zusammensetzung der Vokale aus reinen Tönen und Zuordnung dieser auf einen Abschnitt der Basalmembran durch von Helmholtz im Jahr 1896 [35]. Im Verlauf entstanden die ersten Klassifikationen der Schwerhörigkeit, welche die Hörweite der Sprache als Maß zur Einteilung nutzten. Dabei wurde das Ticken einer Taschenuhr oder die tonlose Flüstersprache genutzt, da durch letztere die Lautheitsunterschiede zwischen den Konsonanten und Vokalen der Prüfwörter geringer ausgeprägt waren [28]. So ließen sich mit den nicht-standardisierten Prüfwörtern besser reproduzierbare Ergebnisse erzielen, die jedoch weiterhin nur schwer vergleichbar und nicht präzise waren.

Vor Beginn der modernen Sprachaudiometrie 1953 in Deutschland dienten zur Begutachtung des Hörvermögens neben der Tonaudiometrie die Hörweitenprüfung

mittels Flüster- und Umgebungssprache [28]. Hierfür wurden zweistellige Zahlen oder eine Wechsellauteihe genutzt. Das Testmaterial erwies sich jedoch in der praktischen Umsetzung als unzureichend und ohne technischen Hilfsmittel als zu fehlerbehaftet [34].

Mit der Tonschwellenaudiometrie wiederum konnte zwar die Hörschwelle für einzelne Frequenzen bestimmt werden und es ließ sich eine topische Diagnostik, mit Unterscheidung in Schalleitungs- und Schallempfindungsschwerhörigkeit durchführen, aber nur bedingt konnte dadurch auf das Sprachverstehen geschlossen werden [64], [69], [102]. Im Vergleich zu einem Tonaudiogramm bildet Sprache einen akustischen Komplex [49]. Während Töne als einfachste Form des Schalls aus einer Sinusschwingung bestehen, setzen sich Klänge wie beispielsweise Vokale aus einem Grundton und einem oder mehreren Obertönen zusammen [93]. Ein Vokal wird aus mehreren Sinusschwingungen, welche sich in einem bestimmten Verhältnis zusammensetzen, gebildet. Stehen die Sinusschwingungen in keinem regelhaften Verhältnis zueinander, wird ein Geräusch wie beispielsweise ein Konsonant wahrgenommen [93]. Einzelne Wörter setzen sich somit aus unterschiedlichsten Klängen sowie Geräuschen und damit verschiedenen Formen des Schalls zusammen, während in Tonaudiogrammen lediglich Sinusschwingungen zur Anwendung kommen. So wurden schon in den 1950er-Jahren neben der Tonschwellenaudiometrie auch Sprachverstehenstests zur umfassenden Diagnostik und Begutachtung von Hörminderungen gefordert.

Tonaudiometrische Messungen haben jedoch nicht an Bedeutung verloren und werden bis heute unter anderem wegen ihrer standardisierten Durchführung neben Sprachverstehenstests in der Hilfsmittel-Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses aufgelistet [83], [117]. Ferner wird die Bedeutung der Tonschwellenaudiometrie für den Vergleich von Ergebnissen und der Planung von kontrollierten klinischen Studien hervorgehoben [76]. Durch variable Einflussfaktoren wie Schalldruckpegel, unterschiedliche Lautsprecheranordnungen und Kopfhörer wird die Vergleichbarkeit von Studien mit Sprachverstehenstests erschwert und macht die Wahl standardisierter Parameter wie Tonaudiogramme umso wichtiger [70].

Die Entwicklung eines internationalen Sprachverstehenstests scheiterte an der notwendigen Verwendung von sinnfreien Silben, sogenannten Logatomen, die sich bereits 1910 als nicht praktikabel erwiesen [34]. Diese Kunstwörter haben zwar den Vorteil, nicht redundant zu sein und durch die schwierige Verständlichkeit das Auswendiglernen zu erschweren, jedoch führen sie zur Ermüdung, da wiederholt versucht wird sinnhafte Wörter zu verstehen [34]. Dieses Verhalten soll Beobachtungen nach auch mit der Intelligenz der Testpersonen zusammenhängen [34]. Auch später entwickelte Logatomtests [25], [68], [111], [112] konnten sich in der klinischen Anwendung nicht etablieren und haben, abgesehen von speziellen Fragestellungen, wie der Unterscheidung von Personen anhand ihrer Stimme durch Cochlea-Implantat-Nutzer [67], bisher keine breite Verwendung gefunden.

Während es auf internationaler Ebene zu keinem einheitlichen Sprachverstehenstest kam, wurden auf nationaler Ebene verschiedene Methoden entwickelt [34]. Schon in den 1940er-Jahren war die Sprachaudiometrie in den USA als klinische Untersuchungsmethode verbreitet [34]. Führend war die Harvard-Universität, aus der verschiedene Sprachtests, wie der Spondee-Test hervorgingen [34]. Dieser Test beinhaltete zwei Listen mit 42 Wörtern aus jeweils zwei gleich stark betonten Silben, wie „railroad“ oder „iceberg“ [26], [28]. Die Durchführung des Spondee-Tests erinnert an die adaptive Messweise modernerer Sprachverstehenstests. So wurde die Sprachschallpegel der Testwörter soweit abgeschwächt oder erhöht, dass 50 % der dargebotenen Wörter richtig nachgesprochen werden konnten [26], [33].

Da das Sprachverstehen der Testwörter mit der Anzahl der Laute zunimmt, wurde im Jahr 1948 ein Einsilber-Test entwickelt, dessen einzelne Wörter phonetisch ausgewogen waren [26]. Dieser sogenannte PB-Test (phonetically balanced) basierte auf eine Häufigkeitszählung der Laute in der englischen Sprache [34]. Die Wörterlisten des PB-Tests wurden im Verlauf weiterentwickelt und angepasst [39], [57], [72] und finden in adaptierter Form weiterhin Verwendung in den USA [55], [64]. Auch die prozentuale Messmethode des PB-Tests wird heute noch verwendet. Hierfür wurden verschiedene Schalldruckpegel zur Präsentation der Einsilber angewendet, um den individuell optimalen Sprachschallpegel zu

finden, bei dem möglichst viele Testwörter verstanden wurden. Diese wurde dann in Prozent angegeben und ergab als Differenz von 100 % den Diskriminationsverlust für Sprache [26], [34].

In Deutschland entstand 1950 basierend auf den US-amerikanischen Sprachtests die isophone Sprachgehörprüfung nach Amersbach und Meister, bei der die Testwörter gleichmäßig anhand ihres Anteils an Vokalen, stimmlosen Konsonanten und Zischlauten aufgeteilt wurden [3]. Der Wortkatalog enthielt Ein- und Mehrsilber wie „Harmonium“, gleichzeitig wurden sinnfreie Testwörter wie „ix“ verwendet [34]. Selbst in der überarbeiteten Version konnte sich die isophone Sprachgehörprüfung nicht durchsetzen [34]. Ein zeitgleich publizierter Sprachverstehenstest, der ebenfalls sinnfreie und sinnvolle Testwörter kombinierte [88], [89], fand auch keine weitere Verwendung, sodass im deutschen Sprachraum keine standardisierten, präzisen und replizierbaren Sprachverstehenstests für Hörprüfungen zur Verfügung standen. In einer 1952 zu dieser Thematik durchgeführten Tagung der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Audiologen stellte Hahlbrock die Resultate seiner Studien vor, die im Anschluss direkt zu einer Empfehlung des von ihm entwickelten Freiburger Sprachtests für die klinische Sprachaudiometrie führten [28]. Die im darauffolgenden Jahr veröffentlichte Arbeit zum Freiburger Sprachtest, bestehend aus einem Einsilber- und Zahlentest, gilt als Beginn der modernen Sprachaudiometrie in Deutschland [28], [33].

An Sprachverstehenstests werden verschiedenste allgemeine Anforderungen gestellt. So ist die Lautstruktur der Umgangssprache, die sich im Verlauf wandeln kann, zu berücksichtigen [28], [55]. Gleichzeitig gilt es, die Auftretenswahrscheinlichkeit der Testwörter in der Sprache und das vorhandene Sprachwissen zu beachten oder das spezifische Verhältnis von Konsonanten und Vokalen sowie die Anzahl der Sprachlaute je Testwort und deren An- und Endlaute zu analysieren [55]. Ferner müssen die Eigenschaften des Sprechers, seine Sprechweise und die Präsentation der Testwörter mittels Kopfhörer oder im Freifeld berücksichtigt werden [55], [101].

Aus dem technischen Fortschritt der Hörhilfen, wie zum Beispiel aktive Mittelohrimplantate, oder Knochenleitungs- und Cochlea-Implantate [65], ergeben

sich neue Forschungsfelder zum Sprachverstehen, wie das Hören in verhallter Umgebung [66] oder im Störschall [60]. Daraus resultieren neue Anforderungen an Sprachverstehentests. Neben dem erwähnten Freiburger Test, bestehend aus einem Einsilber- und einem Zahlentest, entstanden eine Vielzahl an weiteren Tests, welche grob in Wörter- und Satztests, sowohl für Kinder als auch Erwachsene, eingeteilt werden können.

Zu den Wörtertests zählen neben dem Freiburger Sprachtest und den schon erwähnten verschiedenen Logatomtests, auch beispielsweise der sogenannte Dreinsilbertest [25]. Hier werden drei Einsilber hintereinander dargeboten, um das Sprachverstehen zu überprüfen. Basierend auf einem vorherigen Reimtest [91] wurde 1989 der Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier (WAKO) mit einer geschlossenen Antwortmöglichkeit veröffentlicht. Ein zuvor präsentiertes einsilbiges Wort wie „weiß“ konnte von dem Probanden aus einer Auswahl von fünf Antwortalternativen wie „weiß-beiß-Geiß-Reis-leis“ gewählt werden. Dies sollte den Einfluss des Versuchsleiters verringern und eine automatische Durchführung ermöglichen [109]. Jedoch wurde angeführt, dass dadurch Fähigkeiten im Lesen und in der Rechtschreibung vorausgesetzt werden, die nicht immer vorhanden seien und so zu falschen Ergebnissen führen können [28]. Ferner lassen sich durch den WAKO Phonemverwechslungen auswerten, umso auf Schwierigkeiten bei der Artikulation von Sprachlauten zu schließen [45]. Bei Bedarf kann ein Störgeräusch zugeschaltet werden, welches zwei Sekunden vor dem Testwort einsetzt und eine Sekunde nach der Präsentation endet [109]. Dieser Ankündigungsreiz dient der Erhöhung der Aufmerksamkeit und führt bei Hörgeräten zur Einstellung auf neue Umgebungsbedingungen [45].

Ein Beispiel aus der Vielzahl an Satztests ist der Göttinger Satztest (GÖSA) [53], bestehend aus 20 Testlisten zu je zehn Alltagssätzen aus drei bis sieben Wörtern, als Weiterentwicklung des zuvor verbreiteten und kritisierten Marburger Satztests [71], [90], [113]. Die Normwerte des GÖSA wurden an 40 Normalhörenden erhoben. Aus den jeweiligen Sprachpegeln in dB, mit denen die Testsätze dargeboten wurden und dem damit verbundenen Sprachverstehen in Prozent, lässt sich die für den Test spezifische Diskriminationsfunktion mit ihrem sigmoidalen Verlauf bestimmen. Diese ähnelt einer logistischen Funktion und kann

durch die 50 %-Sprachverstehensschwelle (SVS) und die Steigung an diesem Punkt näher beschrieben werden [45]. Die 50 %-SVS gibt den Sprachschallpegel an, bei dem noch 50 % der präsentierten Wörter richtig verstanden und nachgesprochen werden können. Je höher dieser Sprachschallpegel für das 50 %-Sprachverstehen ist, desto schwieriger sind die Testwörter zu erkennen [44]. Dieser Punkt hat die größte Steigung und bildet den Wendepunkt der für den jeweiligen Test spezifischen Diskriminationsfunktion. Je schlechter das Sprachverstehen, desto flacher verläuft die Diskriminationsfunktion [44]. Zur Bestimmung der Sprachverstehensschwelle werden Sprachpegel knapp über und unter der 50 %-SVS präsentiert, um sich so dieser anzunähern. Dieses Messverfahren wird als adaptiv bezeichnet [9]. Zur Bestimmung des Sprachverstehens im Störschall wird der Sprachschallpegel ermittelt, bei dem während eines konstanten Störschallpegels das Sprachsignal zu 50 % verstanden wird. Die Differenz zwischen dem Sprachschallpegel für das 50 %-Sprachverstehen und dem Störschallpegel ist als Schwelle L50 definiert und wird im Folgenden als Signal-Rausch-Abstand für das 50 %-Sprachverstehen bezeichnet (S/N50). Im Störschall wird der S/N50 des GÖSA mit -6 dB angegeben [45]. Dies bedeutet, dass der Sprachpegel 6 dB geringer sein kann als der gleichzeitig präsentierte Störschall, damit immer noch 50 % der Wörter richtig nachgesprochen werden können. Die Steigung am Wendepunkt der Diskriminationsfunktion beträgt im Störschall 19 % / dB [51]. Die 50 %-SVS für Normalhörende in Ruhe liegt beim GÖSA bei 20 dB mit einem Anstieg des Sprachverstehens an diesem Punkt von 11 % / dB [106]. Aus den statistisch überlagerten Wörtern des WAKO wurde ein Rauschen als Störgeräusch für den GÖSA entwickelt [45]. Zu den Kritikpunkten werden die schnelle und weniger verständlichere Präsentation der Testlisten und ihre vergleichsweise geringe Anzahl gezählt [10], [46]. Des Weiteren kann es auf Grund des hohen Informationsgehalts der Testsätze aus dem alltäglichen Leben zu repetitiven Lerneffekten kommen [45].

Besonders für die wiederholte Messung des Sprachverstehens von Cochlea-Implantat Nutzern wurde der Hochmair-Schulz-Moser-Satztest mit einer größeren Anzahl an Testlisten entwickelt und ist auch im Störschall verfügbar [40]. Im Vergleich mit den bisher vorgestellten Satztests hat der ebenfalls adaptiv gemessene Oldenburger Satztest (OLSA) mit 40 Testlisten zu je 30 Sätzen aus

5 Wörtern (in der verkürzten Version 20 Sätze) das größte Repertoire an Testwörtern [104], [105], [107].

Im deutschsprachigen Raum etablierte sich seit seiner Veröffentlichung im Jahr 1953 der Freiburger Sprachtest unter den Wörtertests für Erwachsene [54]. Bei den Satztests haben sich der Göttinger und der Oldenburger Satztest unter der Vielzahl an Sprachverstehenstests in Satzform durchgesetzt [117]. Dies spiegelt sich in der Hilfsmittel-Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses wider, in welcher der Freiburger Einsilbertest (FBE), sowie der GÖSA und der OLSA zur Beurteilung der Verordnungsfähigkeit von Hörhilfen herangezogen werden [117]. Die Bedeutung des Freiburger Sprachtest zeigt sich auch in der vom Spitzenverband der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung herausgegebenen „Königsteiner Empfehlung“ [118]. In dieser werden mittels standardisierter Tabellen die Minderung der Erwerbsfähigkeit (im Bundesversorgungsgesetz Grad der Schädigungsfolgen genannt) als Maß für den Gesundheitsschaden nach Lärmexposition bestimmt [8], [29]. Zwar wurden Versuche unternommen, den WAKO oder den GÖSA, sowohl in Ruhe, als auch im Störgeräusch für die Berechnung der Minderung der Erwerbsfähigkeit einzuführen [97], [98], [100], jedoch zeigte sich weder für die Verwendung des Störschalls, noch für die Messung in Ruhe ein überzeugender Mehrnutzen [14], [29]. Somit wird in der „Königsteiner Empfehlung“ weiterhin nur der Freiburger Sprachtest in seiner Form als Einsilber- und Zahlentest ohne Störschall angeführt.

1.2 Der Freiburger Sprachtest

Durch die Standardisierung nach DIN 45621-1 ist der Freiburger Sprachtest in der klinischen Anwendung allgemein verbreitet [21], [54], [96]. Dieser ist in zwei Teile gegliedert und wird gewöhnlich in einem offenen Antwortformat gemessen, kann aber auch in einer geschlossenen Form wie beim WAKO beschrieben angewendet werden [119].

Der Freiburger Zahlentest (FBZ) dient der Ermittlung des Hörverlusts für Sprache und besteht aus zehn Gruppen zu je zehn zweistelligen und zugleich mehrsilbigen Zahlwörtern zwischen 13 und 99. Die einzelnen Gruppen enthalten zwei zweisilbige und acht viersilbige Zahlen, wobei fünfsilbige Zahlen wie zum Beispiel 27 zu der Gruppe der viersilbigen gezählt wurden [34]. In der routinemäßigen Anwendung wird der FBZ ohne Störschall durchgeführt, jedoch gab es mit dem beidohrigen Zahlentest nach Sauer in der DDR einen Zahlentest im Störschall zur Begutachtung nach Lärmexposition [12]. Da sich die Diskriminationsfunktion des FBZ nicht in der Form ändert, wird das 50 %-Sprachverstehen ermittelt, indem ein Wert unterhalb und ein Wert oberhalb dieser Schwelle gemessen wird, sodass durch Interpolation die 50 %-Sprachverstehensschwelle bestimmt werden kann [44]. Der Sprachschallpegel für das 50 %-Sprachverstehen liegt bei Normalhörenden in Ruhe bei 18,4 dB und weist mit einer Steigung von 8 % / dB an diesem Punkt eine steilere Diskriminationsfunktion auf als bei den Einsilbern [13], [34], [51]. Bei der Entwicklung wurde auf eine phonemische Ausgewogenheit geachtet, die aber bei der ausschließlichen Verwendung von Zahlen nicht der Phonemverteilung der deutschen Sprache entsprechen kann [114]. Zahlen weisen den Vorteil der allgemeinen Bekanntheit auf, sind im Vergleich leicht verständlich und ermöglichen so eine schnelle orientierende Untersuchung [33]. Aus diesem Grund wurden die Zahlen 0 bis 12 ausgeschlossen, da sie als Einsilber schwerer verständlich sind [34].

Das erschwerte Sprachverstehen der Einsilber wird für die Bestimmung des Diskriminationsverlusts für Sprache genutzt. Dabei wird die Differenz zwischen dem maximalen Einsilberverstehen und 100 % als Diskriminationsverlust bezeichnet und in Prozent angegeben. Dafür werden einsilbige Worte wie „Schnee“ oder „Farm“ zu

unterschiedlichen Sprachpegeln, wie 50, 65 und 80 dB oder bei der Berechnung der Minderung der Erwerbsfähigkeit bei 60, 80 und 100 dB, ohne die Unbehaglichkeitsschwelle zu erreichen, dargeboten [29], [34]. Diese prozentuale Messweise unterscheidet sich grundlegend von der adaptiven Methode, wie sie im Zusammenhang mit dem Spondee-Test oder dem GÖSA und OLSA beschrieben wurde und wird auch als sogenannter PBmax-Score in internationalen Studien angewendet [56], [64]. Während beispielsweise der OLSA das 50 %-Sprachverstehen am Punkt der größten Steigung misst, dem Wendepunkt der Diskriminationsfunktion, bestimmt der FBE das maximale Einsilberverstehen bei einem bestimmten Sprachschallpegel. Im Verlauf der Diskriminationsfunktion liegt das maximale Einsilberverstehen im dem Wendepunkt folgenden Sättigungsbereich der Diskriminationsfunktion. Somit können Sprachverstehenstests nicht nur grob in Wort- und Satztests, sondern auch anhand ihrer Messweise unterschieden werden. Zur Verfügung stehen 20 Testlisten zu je 20 Einsilbern. Beim FBE liegt der Sprachschallpegel für das 50 %-Sprachverstehen bei 29,3 dB mit einer Steigung an diesem Punkt von 5 % / dB [13], [51]. Die Kombination von FBZ und FBE wird auch differentialdiagnostisch eingesetzt, da beispielsweise eine große Differenz zwischen Einsilber- und Zahlenkurve auf eine neuronale Beteiligung hinweisen kann [44], [45].

Bei der Auswahl des Wörtermaterials für den Freiburger Sprachtest beachtete Hahlbrock eine Verständlichkeitsskala, nach der ganze Sätze am besten verständlich und über Zahlen, Vornamen, gebräuchliche und ungebräuchliche Wörter bis zu Logatomen immer schwieriger zu verstehen waren [33]. Dabei sollte die Verständlichkeit der gesuchten Testwörter ausreichend schwer sein. Aus diesem Grund wurde ein nach dem Vorbild des Spondee-Tests entwickelter Sprachverstehenstest verworfen, da die verwendeten Zweisilber („Schwimmbad“ oder „Knopfloch“) in ihrer Verständlichkeit den Zahlenwörter ähnlich waren [33]. Als Nachteil eines Satztestes wurde 1953 die erhöhte Anforderung an die Kombinationsgabe der Patienten angeführt [33]. Sinnfreie Sätze oder Kunstwörter wurden abgelehnt, da sie zum einen schneller ermüden und zum anderen, da sie einen Teil der Sprachwahrnehmung zu sehr fördern würden, nämlich die eklektische Kombination [33]. Durch unterbewusste Assoziationen erweckt Sprache eine Bedeutungsvorstellung, die dazu führen kann, dass sinnfreie Sätze oder Wörter

durch bereits bekannte ersetzt werden [33], [114]. Die eklektische Kombination findet auch im normalen Sprachgebrauch statt, wenn etwaige Wahrnehmungslücken durch die assoziativen Bedeutungsvorstellungen ergänzt werden. Dadurch könnte sich aber eine unterschiedliche Bildung und der damit verbundene Wortschatz auf das Sprachverstehen auswirken [33]. Die Verknüpfung von sprachaudiometrischen Ergebnissen mit kognitiven Leistungen zeigt sich auch in neueren Studien [31], [63]. Als Ursache wird weniger die Intelligenz, sondern eher Veränderungen des Arbeitsgedächtnisses neben dem eigentlichen Hörverlust angeführt [1], [58], [63], [92]. Nach dem Ease of Language Understanding-Modell (ELU) wird davon ausgegangen, dass die Sprachwahrnehmung auf verschiedenen Ebenen erfolgt und letztlich auf der pragmatischen Ebene zur sprachlichen Äußerung führt, die von Sprachverstehenstests gemessen wird [78], [84]. Indirekt wird von diesen somit neben dem Sprachverstehen auch die Sprachwahrnehmung erfasst. Wenn die Sprachwahrnehmung auf den verschiedenen Ebenen durch sinnfreie Sätze oder Wörter, Störschall oder Artefakte der Hörerätesignalverarbeitung beeinträchtigt wird, kommt es zur Belastung kognitiver Ressourcen, da beispielsweise Wahrnehmungslücken erst mit dem Langzeitgedächtnis abgeglichen werden müssen [63], [84]. Nach dem ELU-Modell ist für den länger dauernden „Umweg der expliziten Verarbeitung“ das Arbeitsgedächtnis nötig, um die Sprache dennoch zu verstehen oder ihr eine Bedeutung geben zu können [63], [84]. Für die Auswahl des Wörtermaterials entschied sich Hahlbrock gegen Mehrsilber und Sätze und für die Verwendung von Einsilbern. Dabei konnte er sich nicht auf Modelle zur Sprachwahrnehmung, sondern nur auf eigene und in der Literatur beschriebene Beobachtungen stützen [33].

Mittels eines Häufigkeitswörterbuches wurde darauf geachtet, nur die zu dieser Zeit gebräuchlichen einsilbigen Substantive zu verwenden. Auf Vornamen („Tim“) oder Farben wurde verzichtet [33]. Bei der Auswahl der Einsilber musste, was den Ausfall mancher Laute, Lautverbindungen oder das Gesamtverhältnis von Vokalen zu Konsonanten angeht, ein Kompromiss eingegangen werden, da diese teilweise nur in Mehrsilbern zu finden sind [33]. So wurde angeführt, dass das Verhältnis von Vokalen zu Konsonanten nicht wie in der deutschen Sprache 38,71 % : 61,29 % sei, sondern 29,29 % : 70,71 % und dass trotz Häufung der Konsonanten,

vergleichsweise wenig „d“ in den Testwörtern zu finden sind, da diese in den nicht getesteten Artikeln vorkommen [33]. Ein Fokus in der Entwicklung wurde auf die Länge der Testlisten, den damit verbundenen Zeitbedarf und die Reihenfolge der Testwörter gelegt, sodass keine neuen Hauptwörter wie „Blei-Stift“ entstehen [33]. Da nicht alle Laute der deutschen Sprache abgebildet werden konnten, wurden verschiedene Gruppen, bestehend aus sechs Vokal-, zwei Diphthong- und zehn Konsonantengruppen, gebildet, in denen verwandte Sprachlaute zusammengefasst wurden (siehe Abbildung 1) [33].

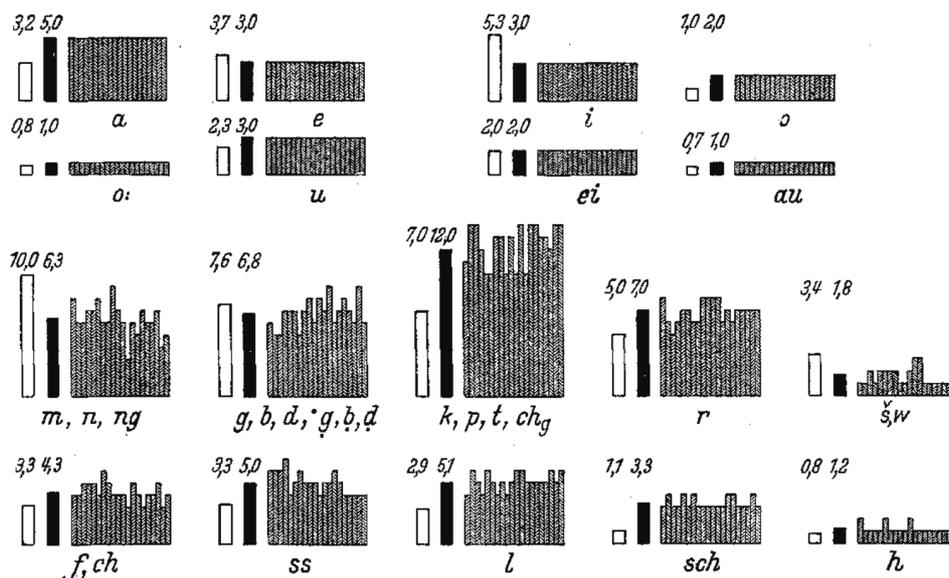


Abb. 9. Lautverteilung in normaler Sprache und im Verständnistest. Die weißen Felder repräsentieren die prozentualen Werte in normaler Sprache, die schwarzen Felder die im Verständnistest. Die schraffierten Felder zeigen die entsprechenden Werte in jeder einzelnen Wörtergruppe (je 20 Wörter).

Abbildung 1: Aufteilung der Laute des Freiburger Einsilbertests (Verständnistest) in 18 Gruppen. Die Laute „ö“ und „ä“ wurden zur Gruppe „e“ gezählt. „Ü“ in der Gruppe „i“, „eu“ in der Gruppe „ei“. „chg“ = „ch“ (guttural). (Quelle: Hahlbrock KH (1953) Über Sprachaudiometrie und neue Wörterteste. Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd 162:416)

Jede Testliste wurde so geordnet, dass sie jeweils 73 Phoneme enthielt und möglichst die gleichen Anlaute [33]. Trotz aller Bemühungen die Testlisten phonemisch ausgewogen zu entwickeln, sind individuelle Faktoren wie Aufmerksamkeit, Gewissenhaftigkeit, Konzentration, die augenblickliche Stimmung, das Temperament oder die Ermüdbarkeit nicht auszuschalten, würden sich jedoch

nicht auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse auswirken, wenn sie nicht gezielt getestet werden [34].

Im Verlauf unterlief der Freiburger Sprachtest mehreren Überarbeitungen, so wurde das Sprachmaterial 1969 und 1976 neu aufgenommen und in den DIN-Normen 45621-1 und 45626-1 standardisiert [20], [21], [74] oder von Tonbandträgern auf CD übertragen [73]. Ferner wurde zur weiteren Differentialdiagnostik der Schwerhörigkeit der verhallte Freiburger Sprachtest eingeführt [17], [18] und es erfolgte die Evaluation und Anwendung des FBE im Störschall mittels des sogenannten CCITT-Rauschens (Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique) [30], [59], [60], [62].

1.3 Der Oldenburger Satztest

Um zum einen den sich wandelnden Ansprüchen der Sprachaudiometrie gerecht zu werden und zum anderen, um Kritikpunkten an den vorherigen Satztests wie dem GÖSA zu entgegnen [45], wurde 1999 der Oldenburger Satztest (OLSA) veröffentlicht [104], [105], [107]. Der OLSA als sogenannter Matrixtest unterscheidet sich im Grundaufbau vom GÖSA dadurch, dass keine Alltagssätze verwendet werden, sondern ein Basiswortmaterial von 10 Sätzen mit 5 Wörtern, die den Aufbau Name-Verb-Zahlwort-Adjektiv-Objekt haben (siehe Tabelle 1) [10]. Aus den einzelnen Wortgruppen lassen sich Sätze wie „Doris malt neun nasse Sessel“ bilden, sodass insgesamt 40 Listen mit jeweils 30 Sätzen je 5 Wörter angeboten werden. Dadurch können durchaus sinnfreie Sätze entstehen, die jedoch jeweils syntaktisch korrekt sind und die Vorhersagbarkeit verringern sollen [51]. Der OLSA ist die Weiterentwicklung des schwedischen Matrixtests nach Hagerman [32]. Bei diesem wurden die einzelnen Wörter auf Tonband aufgenommen, ausgeschnitten und dann zu verschiedenen Sätzen zusammengefügt [10]. Die daraus entstandene unnatürliche Satzmelodie wurde im OLSA verbessert, indem 100 Sätze aufgenommen und so natürlichere Übergänge zwischen zwei aufeinander folgenden Wörtern gebildet wurden [10]. Das Prinzip der Matrixtests wurde auf 17 Sprachen übertragen, darunter Italienisch, Spanisch oder Türkisch und wird auch für Audiometer vertrieben [10], [41], [80], [116]. Durch den gleichen Aufbau

können die Ergebnisse innerhalb der sprachenspezifischen Referenzwerte verglichen werden und die Grundlage für einen internationalen Sprachverstehenstest bilden [10], [52].

Tabelle 1: Basiswortmaterial des Oldenburger Satztests (Quelle: Oldenburger Satztest Bedienungsanleitung für den manuellen Test auf Audio CD, Version 1.0 vom 21.09.2011, Seite 28)

Name	Verb	Zahlwort	Adjektiv	Objekt
Peter	bekommt	drei	große	Blumen.
Kerstin	sieht	<u>neun</u>	kleine	Tassen.
Tanja	kauft	sieben	alte	Autos.
Ulrich	gibt	acht	<u>nasse</u>	Bilder.
Britta	schenkt	vier	schwere	Dosen.
Wolfgang	verleiht	fünf	grüne	<u>Sessel</u> .
Stefan	hat	zwei	teure	Messer.
Thomas	gewann	achtzehn	schöne	Schuhe.
<u>Doris</u>	nahm	zwölf	rote	Steine.
Nina	<u>malt</u>	elf	weiße	Ringe.

Der OLSA ist mittels Computersteuerung oder manuell durchführbar [120]. Durch den geschlossenen Aufbau der Antworteingabe ist es möglich, in der jeweiligen Muttersprache zu testen ohne dass der Untersucher der Sprache mächtig ist. Jedoch zeigte sich, dass dadurch, wie zuvor beschrieben, Anforderungen an die Lesefähigkeit der Probandinnen und Probanden gestellt werden, die nicht bei jedem gewährleistet sind und so zu verfälschten Ergebnissen führen können [10], [28]. Ein Vorteil des OLSA ist die aus dem Basiswortmaterial gebildete große Anzahl an Testsätzen. Dies ermöglicht die wiederholte Messung in einer Sitzung, wie beispielsweise bei der Hörgeräteanpassung ohne eine bereits präsentierte Testliste erneut anwenden zu müssen [45]. Dadurch kommt es zu einem geringeren repetitiven Lerneffekt [37]. Durch Verbesserung von Hörhilfen wie Cochlea-Implantaten werden neue Herausforderungen an Sprachverstehenstests gestellt, wie beispielsweise die Messung im Störschall [67]. Hier erhöht sich auch bei Normalhörenden die Sprachverstehensschwelle, sodass die Diskriminationsfunktion möglichst steil ansteigen muss, um die kleineren

Unterschiede im Sprachverstehen nachweisen zu können [10]. Die 50 %-SVS mittels adaptiver Pegelsteuerung liegt bei Normalhörenden in Ruhe wie beim GÖSA bei 20 dB mit einer Steigung von 11 % / dB [45]. Im Störschall liegt der S/N₅₀ bei Normalhörenden bei -7,1 dB und weist an diesem Punkt eine Steigung von 17,1 % / dB auf [104]. Weitere Vorteile sind die perzeptive Äquivalenz, sodass die Auswahl der Testlisten nicht das Ergebnis beeinflusst und die geringe Vorhersagbarkeit der Sätze [104]. So sollen pro Satz bei einem Signal-Rausch-Abstand von -5 dB vier Wörter und bei einem Signal-Rausch-Abstand von -9 dB noch drei von fünf Wörtern je Satz statistisch unabhängig getestet werden, was mit der Unvorhersagbarkeit der sinnfreien Sätze begründet wird [104]. Die steigende Vorhersagbarkeit der Sätze bei kleineren Signal-Rausch-Abständen kann auf den dominanten prozeduralen Lerneffekt des OLSA zurückgeführt werden (siehe Abbildung 2) [37], [86].

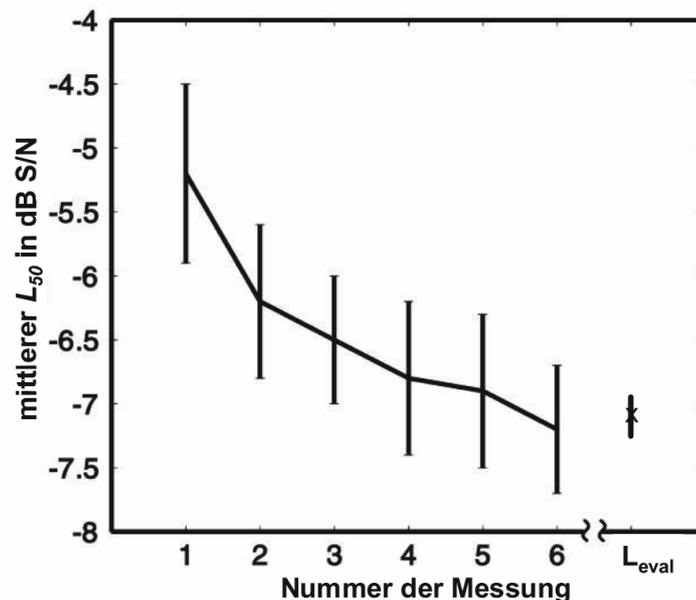


Abbildung 2: Darstellung der mittleren Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen mit Standardabweichungen in Dezibel (L_{50} in dB S/N) bei wiederholten Messungen des Oldenburger Satztests. L_{eval} zeigt die mittleren Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen der Evaluationsmessungen. (Quelle: Oldenburger Satztest Bedienungsanleitung für den manuellen Test auf Audio CD, Version 1.0 vom 21.09.2011, Seite 32)

So kommt es bei der Verwendung der Testlisten mit 20 Sätzen bei Normalhörenden in den Sprachen Deutsch, Italienisch, Spanisch und Russisch zwischen der ersten

und zweiten präsentierten Liste zu einer Verbesserung um 1,2 dB und für die nachfolgenden Testlisten von weniger als 1 dB [10]. Dieser langfristige Lerneffekt ist bei offenem und geschlossenem Antwortformat zu beobachten [10], [86].

Bei der Untersuchung der dänischen Version des Matrixtests wurde ein größerer Lerneffekt festgestellt [36], weshalb vor Testbeginn die Durchführung von mindestens einer [45], [104] oder zwei Trainingslisten [10], [106] empfohlen wird, um den prozeduralen Lerneffekt zu begrenzen. In der vorliegenden Dissertation wurde daher bei allen Probandinnen und Probanden eine Trainingsliste mit 30 Sätzen verwendet. Zwar wird angeführt, dass sich bei der adaptiven Messweise der Zeitaufwand nach den individuellen Patienten richtet, jedoch ist er dadurch und durch die Notwendigkeit der Trainingslisten höher [10], [77]. Des Weiteren wird empfohlen, die Probandinnen und Probanden im Vorfeld über die Präsentation sinnfreier Sätze zu informieren (vergleiche 8.2 Probandeninstruktionen) [120]. Dennoch können diese Sätze, insbesondere aber auch die Trainingslisten mit der damit verbundenen längeren Testdauer zu Konzentrationsschwankungen führen [45]. Aus diesem Grund wurde der Oldenburger Satztest für Kinder, bestehend aus verkürzten 3-Wörter-Sätzen des OLSA wie „vier rote Blumen“, bei Erwachsenen durchgeführt [15], [108]. Gleichzeitig bewirkt die Verwendung der kürzeren 20-Satz-Testlisten jedoch eine ungenauere Schwellenbestimmung [10]. Außerdem wird kritisiert, dass der OLSA für den Gebrauch bei Cochlea-Implantat-Nutzern nicht empfohlen wird, wenn in Ruhe bei Sprachpegeln von 65 dB ein Sprachverstehen von 75 % nicht erreicht wird [45], [38]. Hier zeigt sich ein weiterer Unterschied zur prozentualen Messweise: während bei dieser das maximale Verstehen ermittelt wird und bei Normal- und Schwerhörenden einen Prozentwert ergibt, wechselt bei der adaptiven Pegeländerung der Signal-Rausch-Abstand das Vorzeichen. So kann der Signal-Rausch-Abstand bei Normalhörenden -7 dB und bei Schwerhörenden +7 dB betragen [42], [99]. Dies muss Patienten erklärt werden und kann für Verwirrung sorgen. Eine weitere Einschränkung des OLSA besteht bei hochgradig Schwerhörenden, welche den S/N50 durch technische Grenzen nicht erreichen können [10], [45]. Trotz der genannten Einschränkungen in der praktischen Durchführung hat sich der OLSA insbesondere aufgrund seiner Vorteile gegenüber dem GÖSA, seines universalen Aufbaus und seiner steilen Diskriminationsfunktion unter den Satztests durchgesetzt.

1.4 Diskussion um den Freiburger Sprachtest

Schon kurz nach der Einführung des Freiburger Sprachtests wurden kritische Studien insbesondere bezüglich des FBE zu dessen Validität, Reliabilität und Effizienz veröffentlicht [4]. Doch durch seine Praktikabilität und den schnell aufgebauten großen Erfahrungsschatz in der Anwendung des FBE haben sich, zunächst mangels Alternativen, jahrzehntelang keine anderen Sprachverstehentests durchgesetzt [44]. Die gestiegenen Anforderungen in der Sprachaudiometrie und die Aufnahme des GÖSA und OLSA in die Hilfsmittel-Richtlinie 2011 führten zu einer Intensivierung der Forschung, die auch durch die 2012 veröffentlichte Norm DIN 8253-3 mit ihren Qualitätsanforderungen an einen Sprachverstehentest befeuert wurde [4], [24]. Im Folgenden wird auf die teilweise veraltete Kritik aus der Anfangszeit des Freiburger Sprachtests und die jüngste Literatur hierzu eingegangen.

So wurde zu Beginn Kritik zu den unterschiedlichen Aufnahmequalitäten von Kassettenrecordern oder Tonbändern geäußert [2], [110], die jedoch mit der Standardisierung des Sprachmaterials [21] und spätestens nach Einführung der Compact Disc [73] verebbte. Jedoch wurde weiterhin die übertriebene Artikulation der Testwörter bemängelt und die Befürchtung geäußert, dass einige Einsilber wie „Aas“ oder „Sau“ zu Hemmungen führen könnten [75]. Zudem wurde schon 1985 der geringe Bekanntheitsgrad mancher Einsilber kritisiert [2], was entgegen der ursprünglichen Absicht zu einem unterschiedlichen Sprachverstehen führen würde [37], [46], [81]. Eine kürzlich veröffentlichte Studie zur Worthäufigkeit in der geschriebenen und gesprochenen Sprache zeigte auf, dass fünf Listen des FBE signifikant seltenere und vier Listen signifikant häufigere Einsilber enthielten [94]. Durch den unterschiedlichen Bekanntheitsgrad ist das Sprachverstehen abhängig vom individuellen Wortschatz. Als Lösungsvorschläge der damit bedingten geringeren Messgenauigkeit werden zum einen die Anwendung von geschlossenen Antworteingaben genannt und zum anderen eine neue Zusammenstellung der Wortlisten angeführt [94]. Die Selektion möglicher Einsilber und deren Neuaufnahme wurde bereits unternommen [61], [81].

Im Jahr 1986 wurde die phonetische Ausgewogenheit des FBE für die Begutachtung und Hörgeräteindikation bemängelt [110], später wurde eingeräumt, dass die Phonemverteilung zwar der deutschen Sprache entspräche, jedoch nicht die Phonemübergänge [47]. Dagegen wird angeführt, dass trotz aller Anstrengungen mit der Auswahl der Einsilber als Testgrundlage keine kongruente Phonemverteilung wie in der deutschen Sprache erzielt werden kann [34]. So zeigt eine neuere Studie auf, dass der FBE eine relativ geringe Abweichung von der Phonemverteilung der deutschen Sprache habe und bis auf die Testliste 12 vergleichsweise phonemisch ausgewogen sei [27].

Besonders die Diskussion um den Schwierigkeitsgrad der einzelnen Testlisten wurde und wird umfassend geführt [114]. Wiederholt wurde in verschiedenen Studien angeführt, dass einzelne Listen unausgewogen seien [2], [6], [110], sodass das Ergebnis weniger von der Leistung des Probanden, sondern viel mehr von der einzelnen verwendeten Liste abhängig sei [62]. Die einzelnen Autoren kamen jedoch auf Grund der Heterogenität der Messverfahren und der Probandengruppe zu keinen übereinstimmenden und teilweise widersprüchlichen Ergebnissen [4], [37], [62]. Auch eine Aufteilung der Studien nach Messbedingungen führte zu keiner vollständigen Übereinstimmung [114]. Gleichwohl wurden in anderen Studien etwaige Unterschiede als für die Praxis nicht bedeutsam bewertet [13] oder ließen sich nicht nachweisen [59]. In einer mit dem bisher größten normalhörenden Probandenkollektiv und unter Verwendung aller 20 Testlisten durchgeführten Studie, zeigten sich die Listen 5, 11, 12 und 15 als nicht perzeptiv äquivalent [5]. Als mögliche Ursache wurden Wortverwechslungen, Lautheitsunterschiede, die unterschiedliche Bekanntheit oder Phonemunterschiede zwischen den Testlisten angeführt [5]. Für die Testlisten 5, 11 und 15 konnte jedoch keine phonemische Unausgewogenheit nachgewiesen werden [27].

Des Weiteren wurde die Kürze der Testlisten des FBE kritisiert, da dies eine größere Messungenauigkeit bewirke [2], [46], [115]. Daher wird die Verwendung von mehr als einer Liste empfohlen [115]. Neben einem repetitiven Lerneffekt soll der FBE auch einen gering ausgeprägten prozeduralen Lerneffekt aufweisen [37]. Im Störschall mit -2 dB SNR konnte eine signifikante Verbesserung des mittleren Sprachverstehen zwischen zwei Messungen nachgewiesen werden [62]. Auch in

Ruhe stieg das mittlere Sprachverstehen in einer weiteren Studie zwischen den erstmaligen drei Messungen des FBE jeweils um ca. 5 % oder einen zusätzlichen Einsilber an [87]. Ab der dritten Messung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Sprachverstehen mehr [87]. Dies wird mit einer Habituation an die Testsituation erklärt, wobei jedoch nicht nachgewiesen konnte, ob der prozedurale Lerneffekt auch auftritt, wenn der FBE schon bekannt war [87], [115] oder wenn zuvor der zum Freiburger Sprachtest dazuzählende FBZ durchgeführt wurde [87]. Zu gegensätzlichen Ergebnissen kam eine Studie, in welcher zwischen zwei Messungen, sowohl in Ruhe, als auch im Störschall mit +5 dB SNR keine Wiederholungsabhängigkeit des Sprachverstehens nachgewiesen werden konnte [30]. Ferner wird kritisiert, dass keine Studien zum repetitiven Lerneffekt des FBE in Ruhe vorliegen [37].

Die Anwendbarkeit des FBE im Störschall wurde kontrovers diskutiert [4], [47], [50], [99]. Trotzdem wurde der FBE bereits im Störschall durchgeführt [30], [62] und nach seiner Evaluierung [59], [60] im Jahr 2017 sogar in die Hilfsmittel-Richtlinie aufgenommen [117]. Darüber hinaus wurde das Fehlen eines Ankündigungsreizes kritisiert, welcher beispielsweise für die Einstellung von Hörhilfen auf veränderte Umweltbedingungen wichtig ist [45]. Diesem Punkt wurde jedoch durch das Festlegen eines Untersuchungsablaufs im Störschall entgegnet [59]. So wurde das Rauschen vor der eigentlichen Messung gestartet und zuvor ein Testsatz vorgelesen [59].

1.5 Hypothesen

Ein weiterer Kritikpunkt in der umfassenden Diskussion zum Freiburger Sprachtest ist die bisher fehlende adaptive Pegelsteuerung des FBE [9], [37], welche gleichzeitig aufgrund der Unausgewogenheit der Testlisten als nicht sinnvoll betrachtet wird [37]. Obwohl die direkte Vergleichbarkeit verschiedener Sprachverstehenstests nur eingeschränkt möglich ist [44], [99], wurden die Ergebnisse des FBZ als Zahlentest mit einer interpolierenden Messung und des FBE als Worttest mit einer bisher prozentualen Messweise trotz grundlegender Unterschiede in Studien mit adaptiv messenden Satztests wie dem GÖSA oder dem OSLA in Ruhe oder im Störschall verglichen [11], [48], [96], [97].

Die vorliegende Dissertation hat das Ziel eine adaptive Pegeländerung auf den FBE im Störschall zu übertragen, somit die bedingte Vergleichbarkeit zu verbessern und die möglichen Unterschiede zu dem ebenfalls adaptiv messenden OLSA im Störschall zu ermitteln. Hinsichtlich der Diskussion um einen möglichen prozeduralen Lerneffekt des FBE sollen die Auswirkungen der Präsentationsreihenfolge auf die S/N50 der verwendeten Sprachverstehenstests, ferner mögliche geschlechtsspezifische Unterschiede und eine Korrelation der S/N50 untersucht werden. Zudem soll aufgrund fehlender Messwerte in der Literatur und der Bedeutung einer raschen und präzisen Messung in der praktischen Anwendung der Zeitaufwand für die adaptive Pegeländerung des FBE erfasst werden.

Als Nullhypothese 1 gilt, dass sich der Zeitbedarf für die Messung des OLSA und des FBE bei Anwendung einer adaptiven Pegeländerung im Störschall nicht signifikant unterscheidet. Als Alternativhypothese 1 wird formuliert, dass bei adaptiver Pegeländerung ein signifikanter Unterschied des Zeitbedarfs für die Messung des OLSA und FBE im Störschall nachgewiesen werden kann. Als Nullhypothese 2 gilt, dass sich die S/N50 des OLSA und des FBE im Störschall bei Anwendung einer adaptiven Pegeländerung nicht signifikant unterscheiden. Als Alternativhypothese 2 wird formuliert, dass ein signifikanter Unterschied der S/N50 des OLSA und des FBE bei adaptiver Pegeländerung im Störschall nachgewiesen kann.

2. Material und Methoden

2.1 Probandinnen und Probanden

Als Einschlusskriterien galten neben einem Alter zwischen 18 und 25 Jahren, Deutsch als Muttersprache und ein beidseitiges normales Hörvermögen. Nach ausführlicher Aufklärung, in der vorbekannte Erkrankungen der Ohren, Lärmexposition oder die Einnahme ototoxischer Medikamente erfragt wurden, erteilten alle Studienteilnehmer schriftlich ihr Einverständnis zur Teilnahme. Für die Studie wurden 40 Probandinnen und Probanden (25 weiblich, 15 männlich) rekrutiert. Der jüngste Proband hatte ein Alter von 18 Jahren, die ältesten Studienteilnehmer ein Alter von 25 Jahren (Mittelwert: $22,0 \pm 1,9$ Jahre). Die Ethik-Kommission der Universität zu Lübeck äußerte keine Bedenken zum Forschungsvorhaben. Es wurde am Institut für Medizinische Biometrie und Statistik eine biometrische Beratung in Anspruch genommen. Die audiometrischen Messungen erfolgten in den akustischen Laboren der Sektion für Phoniatrie und Pädaudiologie des Universitätsklinikums Schleswig-Holsteins, Campus Lübeck.

2.2 Geräte und Software

Geräte

Tabelle 2: Geräte

Bezeichnung	Hersteller
Audiometer Auritec AT900	Auritec Medizindiagnostische GmbH, Hamburg
Kopfhörer DT 48	beyerdynamic GmbH & Co. KG, Heilbronn
Lautsprecher	AT 964-30

Software

Tabelle 3: Software

Bezeichnung	Entwickler
Avantgarde 4.0	Ing.-Büro Joachim Nüß, Villingen-Schwenningen
Freiburger Einsilbertest	Aufnahmeversion: 1969 nach DIN 45621-1
Graph Pad Prism 6.0	Graph Pad Software Inc., San Diego, USA
Microsoft Office 365	Microsoft Corporation, Redmond, USA
Oldenburger Satztest 1.4.6.0	HörTech gGmbH, Oldenburg

2.3 Ablauf der Messungen

Die Messungen erfolgten in einem nach DIN-Norm „schallarmen“ Raum unter Verwendung eines nach DIN-Norm kalibrierten klinischen Audiometers AT900 (Auritec Medizindiagnostische GmbH, Hamburg) [21], [22], [23], [24]. Während der Messungen war der Versuchsleiter in demselben Raum anwesend.

Zur Vorbereitung wurde der Ablauf beschrieben und einheitliche Ankündigungen gegeben, um den Einfluss verschiedener Instruktionen auf die Messungen zu verringern (siehe 8.2 Probandeninstruktionen). Diese orientierten sich an den Instruktionen, welche im Handbuch des Oldenburger Satztests auf Audio-CD beschrieben sind [120].

Die Probandinnen und Probanden wurden instruiert, während der binauralen Freifeldmessungen eine aufrecht sitzende Position einzunehmen und sich nicht mit dem Kopf den Lautsprechern zu nähern oder diesen zur Seite zu drehen. Die Lautsprecher befanden sich im Abstand von einem Meter zur Kopfmitte vor den Studienteilnehmern (0°-Richtung), Sprache und Störschall wurden beim adaptiven

FBE im Störschall (aFBE-S) und dem OLSA im Störschall (OLSA-S) aus demselben Lautsprecher präsentiert (S_0N_0 -Situation).

Zunächst wurde ein Tonaudiogramm über Luftleitung mittels Kopfhörer erstellt. Danach erfolgten randomisiert der aFBE-S und der OLSA-S. Die Messungen wurden 20-mal mit dem OLSA-S und 20-mal mit dem aFBE-S begonnen. Die verwendeten Testlisten wurden jeweils zufällig ausgewählt. Beim aFBE-S wurden die Testlisten 5, 11, 12 und 15 aus oben beschriebenen Gründen ausgeschlossen. Die Reihenfolge der durchgeführten Sprachverstehenstests sowie die präsentierten Listen wurden für jeden Probanden dokumentiert. Zwischen den Tests wurde den Probandinnen und Probanden eine Pause von maximal 30 Minuten angeboten. Des Weiteren wurde die benötigte Zeit für den aFBE-S und den OLSA-S erfasst. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich die Probandinnen und Probanden nicht durch die Zeitmessung unter Druck gesetzt fühlen. Beim OLSA-S startete die Messung des Zeitbedarfs mit der Anwendung einer Trainingsliste, auf welche die Testliste folgte. Beim aFBE-S hingegen wurde keine Trainingsliste durchgeführt. Im Folgenden wird auf die Messverfahren näher eingegangen.

2.3.1 Tonaudiometrische Messung

Vor Durchführung des aFBE-S und des OLSA-S wurden bei jedem Probanden eine tonaudiometrische Messung nach DIN EN ISO 8253-1 und DIN EN ISO 8253-2 mit einem DT 48-Kopfhörer (beyerdynamic GmbH & Co. KG, Heilbronn) durchgeführt [22], [23]. Der zulässige Reintonhörverlust für die Luftleitung betrug für die Frequenzen 0,125; 0,250; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 8 kHz stets maximal 10 dB. Die Erhöhung des Schalldruckpegels während der Messung erfolgte in 1 dB- und nicht den üblichen 5 dB-Schritten.

2.3.2 Adaptive Messung des Freiburger Einsilbertests im Störschall

Für die adaptive Sprachpegeländerung wurde der Algorithmus des OLSA-S auf den FBE übertragen [120]. Das Grundprinzip dieses Algorithmus ist es, durch Pegeländerungen den Sprachschallpegel aufzufinden, bei welchem exakt 50 % der vorgespielten Wörter richtig verstanden und korrekt nachgesprochen werden. Eine Pegeländerung erfolgt dabei abhängig von der Anzahl der richtig nachgesprochenen Wörter (siehe Tabelle 4). Werden beispielsweise zu Beginn der Messung vier Wörter richtig nachgesprochen, so wird der Sprachpegel im darauffolgenden Satz um 2 dB verringert, während der Störschall konstant bei 65 dB bleibt.

Tabelle 4: Adaptive Pegeländerungen für die manuelle Durchführung des Oldenburger Satztests (Quelle: Oldenburger Satztest Bedienungsanleitung für den manuellen Test auf Audio CD, Version 1.0 vom 21.09.2011, Seite 17)

Richtig verstandene Wörter im vorangegangenen Satz	Pegeländerung der Sprache	
	Satz 2 bis 5	Satz 6 bis 31 [21]
5	-3 dB	-2 dB
4	-2 dB	-1 dB
3	-1 dB	0 dB
2	+1 dB	0 dB
1	+2 dB	+1 dB
0	+3 dB	+2 dB

Die Einsilber lagen in digitalisierter Form der Aufnahmen aus dem Jahr 1969 nach DIN 45621-1 auf der Festplatte des Steuercomputers des Audiometers AT900 vor [20]. Die Präsentationsreihenfolge der Einsilber innerhalb der verwendeten Testlisten blieb unverändert. Das Sprachsignal und der Störschall waren zu Beginn der Messung jeweils auf 65 dB eingestellt. Als Störschall wurde das ebenfalls in digitalisierter Form auf der Festplatte vorliegende sogenannte CCITT-Rauschen verwendet. Die Präsentation des Störschalls erfolgte kontinuierlich während der Messung mit einem konstanten Störschallpegel von 65 dB. Anwendungsbedingt

kam es zu Beginn der Messung zu einem kurzen zeitlichen Versatz von Störschall und Sprachsignal.

Da dieser Algorithmus auf den OLSA-S ausgelegt ist, wurde der Testablauf des FBE für die adaptive Messweise angepasst. Insgesamt waren für den aFBE-S acht Testlisten des FBE mit je 20 Einsilbern notwendig. Anstatt 160 Einsilber wurden analog zum OLSA-S ebenfalls 150 Wörter dargeboten. Beim OLSA-S wird eine Pegeländerung nach jedem Satz, somit alle fünf Wörter durchgeführt. Aus diesem Grund wurde für die adaptive Messung des FBE das Repertoire an 150 Einsilbern in 5er-Gruppen unterteilt. Jeweils nach Präsentation von fünf Einsilbern erfolgte eine Pegeländerung gemäß Algorithmus. Auf diese Weise wurden in jeder Testliste des FBE vier Pegeländerungen durchgeführt. Ausgenommen ist die zuletzt verwendete Testliste, welche nur zur Hälfte und mit zwei Pegeländerungen präsentiert wurde. Im Gegensatz zum OLSA-S mussten sich beim aFBE-S die dargebotenen Wörter nicht gemerkt werden, sondern konnten unmittelbar nachgesprochen werden.

Für die Messung des aFBE-S wurde eine Microsoft Excel-Tabelle (Microsoft Corporation, Redmond, USA) entworfen, die auf dem zuvor genannten Algorithmus basiert (siehe Tabelle 5 oder 8.3 benötigte Funktionen in der Excel-Tabelle). Um mögliche Rechenfehler bei der Übertragung dieser Methode auf den aFBE-S auszuschließen und um den Testablauf zu beschleunigen, wurde auf die Anwendung von Auswertungsbögen, wie für die manuelle Ausführung des OLSA vorgesehen, verzichtet.

Zusätzlich war die Anwendungssoftware des FBE notwendig, wodurch gleichzeitig zwei PC in Gebrauch waren. Die Anzahl der richtig verstandenen Einsilber wurde während der Messung in die Excel-Tabelle eingetragen und der Sprachpegel der nächsten 5er-Gruppe in der Tabelle gemäß Algorithmus automatisch berechnet. In der Anwendungssoftware des FBE wurden die einzelnen Testlisten ausgewählt und die Pegeländerungen vorgenommen. Die Darbietung des jeweils folgenden Einsilbers erfolgte nicht in einem festen Zeitabstand, sondern erst nach Eingabe des richtig oder falsch nachgesprochenen Einsilbers durch den Versuchsleiter. Dadurch standen den Probandinnen und Probanden ausreichend Zeit zum

Nachsprechen des Einsilbers und zur Konzentration auf die noch folgenden Testwörter zur Verfügung [5]. Durch die räumliche Anordnung beider Computer und durch Einüben war die Zeitdauer der Eingabe in die Excel-Tabelle und der Wechsel der Testlisten in der Anwendungssoftware des FBE auf ein Minimum beschränkt.

Im Verlauf der Messung wurden die Sprachpegeländerungen angepasst. Bei den ersten fünf Präsentationen der 5er-Gruppen erfolgte die Pegeländerung des Sprachsignals in größeren Schritten, ab der sechsten 5er-Gruppe wurden die Pegeländerungen des Sprachsignals kleiner. Die einunddreißigste 5er-Gruppe wurde gemäß dem Algorithmus aus der Antwort der dreißigsten 5er-Gruppe berechnet. Daher wurden insgesamt 31 verschiedene Sprachpegel erfasst. Aus den Sprachpegeln der letzten zwanzig 5er-Gruppen wurde der arithmetische Mittelwert gebildet. Durch Bildung der Differenz zwischen dem arithmetischen Mittelwert der letzten zwanzig Sprachpegel und dem konstanten Störschallpegel von 65 dB wird der Signal-Rausch-Abstand für das 50 %-Sprachverstehen berechnet [120].

Tabelle 5: Beispielhafte adaptive Messung des Freiburger Einsilbertests im Störschall.
 \emptyset : Arithmetischer Mittelwert der letzten zwanzig Sprachpegel in Dezibel; S/N50: Signal-Rausch-Abstand für das 50 %-Sprachverstehen in Dezibel; t_{OLSA-S} / t_{aFBE-S} : benötigte Zeit in Minuten und Sekunden zur Testdurchführung im Störschall

5er Gruppe	Anzahl der richtig verstandenen Einsilber	Pegeländerung [dB]	Sprachpegel [dB]	Testliste
1	4	-2	65	7
2	2	1	63	
3	3	-1	64	
4	1	2	63	
5	4	-1	65	2
6	4	-1	64	
7	3	0	63	
8	3	0	63	
9	3	0	63	20
10	3	0	63	
11	3	0	63	
12	5	-2	63	
13	3	0	61	8
14	1	1	61	
15	2	0	62	
16	1	1	62	
17	2	0	63	16
18	2	0	63	
19	3	0	63	
20	3	0	63	
21	2	0	63	9
22	4	-1	63	
23	3	0	62	
24	1	1	62	
25	3	0	63	1
26	3	0	63	
27	2	0	63	
28	4	-1	63	
29	3	0	62	4
30	3	0	62	
31			62	
\emptyset			62,45	
S/N50			-2,55	
S/N50 _{OLSA-S}			-8,1	
t_{OLSA-S}			8 min 30 s	
t_{aFBE-S}			9 min 16 s	

2.3.3 Durchführung des Oldenburger Satztests im Störschall

Die Messung des OLSA-S in der Version 1.4.6.0 (HörTech gGmbH, Oldenburg) erfolgte wie bei der adaptiven Messung des Freiburger Einsilbertests als binaurale Freifeldmessung im Störgeräusch [121]. Das Störgeräusch wurde kontinuierlich und mit einem festen Störpegel von 65 dB präsentiert.

Verwendet wurden anstatt der 20er- die zu größerer Messgenauigkeit beitragenden und empfohlenen 30er-Testlisten bestehend aus 30 Sätzen mit jeweils fünf Wörtern [120]. Eine ebenfalls empfohlene Trainingsliste [45], [104] wurde zufällig ausgewählt, die darauffolgenden Testlisten wurden automatisch präsentiert.

Die Darbietung der Sätze erfolgte in einem offenen Antwortformat: Die Probandinnen und Probanden gaben den vollständigen Satz oder Teile dessen erst nach Präsentation des gesamten Satzes wieder. Die richtig nachgesprochenen Sätze oder Wörter wurden von dem Versuchsleiter daraufhin in einer Auswahlmaske der Anwendungssoftware des OLSA-S markiert. Daraufhin wurde der nächste Satz präsentiert. Die Pegeländerungen und die Berechnung des S/N50 erfolgten im Gegensatz zur manuellen Ausführung, ausgehend von den markierten Wörtern, automatisch durch die Software des OLSA-S.

2.4 Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung der gewonnenen Daten wurde die Software Graph Pad Prism 6.0 (Graph Pad Software Inc., San Diego, USA) verwendet. Die Ergebnisse der Messungen des aFBE-S und des OLSA-S wurden als Streudiagramme unter Angabe der Mittelwerte mit Standardabweichung dargestellt. Die Normalverteilung der Daten wurde mit dem d'Agostino-Pearson-omnibus-K2-Test überprüft. Zum Gruppenvergleich der Ergebnisse des OLSA-S und des aFBE-S abhängig von der Präsentationsreihenfolge (an erster oder zweiter Stelle) wurde bei beiden Gruppen als unverbundene Stichproben der Welch-Test durchgeführt. Für die Gruppenvergleiche der Ergebnisse des OLSA-S und des aFBE-S nach Geschlecht wurde bei beiden Gruppen als unverbundene Stichproben ebenfalls der Welch-Test angewendet. Für den Vergleich des Zeitbedarfs wurde bei verbundenen Stichproben der gepaarte t-Test angewendet. Zum geschlechtsunabhängigen Vergleich der Signal-Rausch-Abstände des OLSA-S und des aFBE-S wurde der gepaarte t-Test und zusätzlich zur Untersuchung des Zusammenhangs eine Pearson-Korrelation durchgeführt. Bei allen Gruppenunterschieden galt ein $p \leq 0,05$ als signifikant. Aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus des OLSA-S und des aFBE-S (Satz- und Einsilbertest), des unterschiedlichen Zeitpunkts der Antworten (nach Präsentation des gesamten Satzes beim OLSA-S und direkt nach Präsentation eines einzelnen Einsilbers beim aFBE-S), der Anwendung einer Trainingsliste für den OLSA-S und aufgrund fehlender Angaben in der Literatur, konnte kein klinisch relevanter Unterschied zwischen OLSA-S und aFBE-S definiert werden. Da dieser als Voraussetzung zur Bestimmung von Äquivalenzgrenzen gilt, kam ein Äquivalenztest nicht zur Anwendung.

3. Ergebnisse

3.1 Zeitbedarf

Bei allen 40 Probandinnen und Probanden wurde der Zeitbedarf für die Durchführung des OLSA-S und des aFBE-S erfasst (siehe Abbildung 3). Eine Messung des OLSA-S dauerte im Durchschnitt 467 ± 37 s (7 min 47 s \pm 37 s). Die längste Messung betrug 550 s (9 min 10 s), während die kürzeste 416 s (6 min 56 s) in Anspruch nahm. Im Vergleich betrug die Dauer einer durchschnittlichen Messung des aFBE-S 518 ± 31 s (8 min 38 s \pm 31 s). Der längsten Messung des aFBE-S mit 592 s (9 min 52 s) stand die kürzeste Messung des aFBE-S mit 445 s (7 min 25 s) gegenüber. Hinsichtlich des Zeitbedarfs konnte ein signifikanter Unterschied ($t = 9,29$; $p < 0,001$) nachgewiesen werden. Demnach wird die Nullhypothese 1 abgelehnt und die Alternativhypothese 1 angenommen.

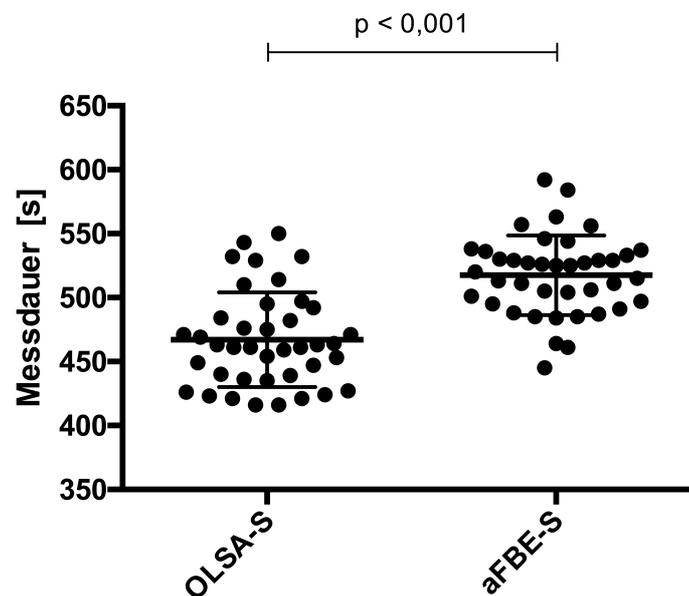


Abbildung 3: Vergleich des Zeitbedarfs in Sekunden für die Messung des Oldenburger Satztests (OLSA-S) und die adaptive Messung des Freiburger Einsilbertests (aFBE-S) im Störschall

3.2 Einfluss der Präsentationsreihenfolge

Neben einer тонаudiometrischen Messung durchliefen alle 40 Probandinnen und Probanden den OLSA-S und den aFBE-S. Dabei wurde die Reihenfolge der Sprachverstehenstests randomisiert und dokumentiert. Sowohl der OLSA-S, als auch der aFBE-S wurden jeweils 20-mal an erster Stelle angewendet. Im Folgenden wird der Einfluss der Präsentationsreihenfolge auf das Ergebnis des OLSA-S und aFBE-S überprüft.

3.2.1 Einfluss auf den Oldenburger Satztest im Störschall

Das Probandenkollektiv wurde unterteilt in eine Gruppe in der im Verlauf der Messung als erstes der Oldenburger Satztest im Störschall verwendet wurde (OLSA-S 1) und in eine Gruppe in der als erstes der Freiburger Einsilbertest angewendet wurde (siehe Abbildung 4). In dieser Gruppe kam der OLSA-S an zweiter Stelle zur Anwendung (OLSA-S 2).

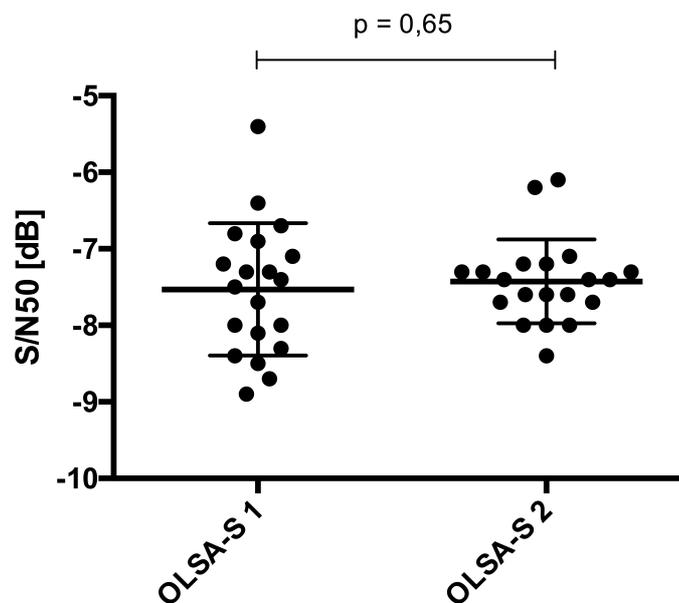


Abbildung 4: Vergleich der Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen in Dezibel (S/N50 [dB]) des Oldenburger Satztests im Störschall (OLSA-S) zwischen der Gruppe mit Präsentation des OLSA-S vor dem adaptiven Freiburger Einsilbertest (OLSA-S 1) und der Gruppe mit umgekehrter Präsentationsreihenfolge (OLSA-S 2)

Im Vergleich zeigte sich in der Gruppe OLSA-S 1 ein mittlerer Signal-Rausch-Abstand für das 50 %-Sprachverstehen von $-7,53 \pm 0,86$ dB und in der Gruppe OLSA-S 2 von $-7,43 \pm 0,55$ dB. Für den OLSA-S konnte keine Abhängigkeit des S/N50 von der Präsentationsreihenfolge nachgewiesen werden ($t = 0,46$; $p = 0,65$).

3.2.2 Einfluss auf den adaptiven Freiburger Einsilbertest im Störschall

Des Weiteren wurde das Probandenkollektiv hinsichtlich der Präsentationsreihenfolge des aFBE-S unterteilt in eine Gruppe aFBE-S 1, mit Messung des aFBE-S an erster Stelle und in eine Gruppe aFBE-S 2 mit Messung nach dem OLSA-S (siehe Abbildung 5). Die mittleren Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen ergaben bei der Gruppe aFBE-S 1 $-1,74 \pm 0,63$ dB und bei der Gruppe aFBE-S 2 $-1,95 \pm 0,74$ dB. Hinsichtlich der Präsentationsreihenfolge ließ sich beim aFBE-S kein signifikanter Unterschied der S/N50 nachweisen ($t = 0,93$; $p = 0,36$).

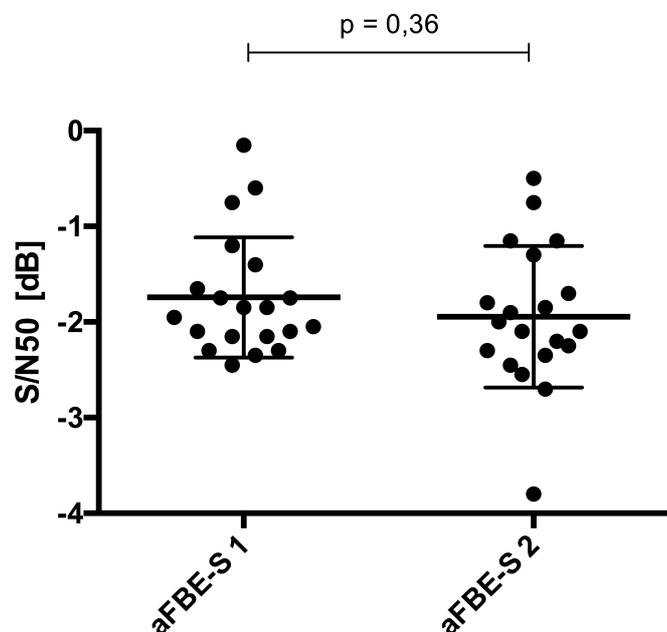


Abbildung 5: Vergleich der Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen in Dezibel (S/N50 [dB]) des adaptiven Freiburger Einsilbertests im Störschall (aFBE-S) zwischen der Gruppe mit Präsentation des aFBE-S vor dem Oldenburger Satztest (aFBE-S 1) und der Gruppe mit umgekehrter Präsentationsreihenfolge (aFBE-S 2)

3.3 Geschlechtsspezifische Unterschiede

3.3.1 Ergebnisse des Oldenburger Satztests im Störschall

Die Gruppe der Probandinnen zeigten beim OLSA-S einen mittleren Signal-Rausch-Abstand für das 50 %-Sprachverstehen von $-7,49 \pm 0,63$ dB auf, während der S/N50 der Probanden $-7,46 \pm 0,87$ dB betrug (siehe Abbildung 6). Es ließen sich keine geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der Ergebnisse des OLSA-S nachweisen ($t = 0,11$; $p = 0,91$).

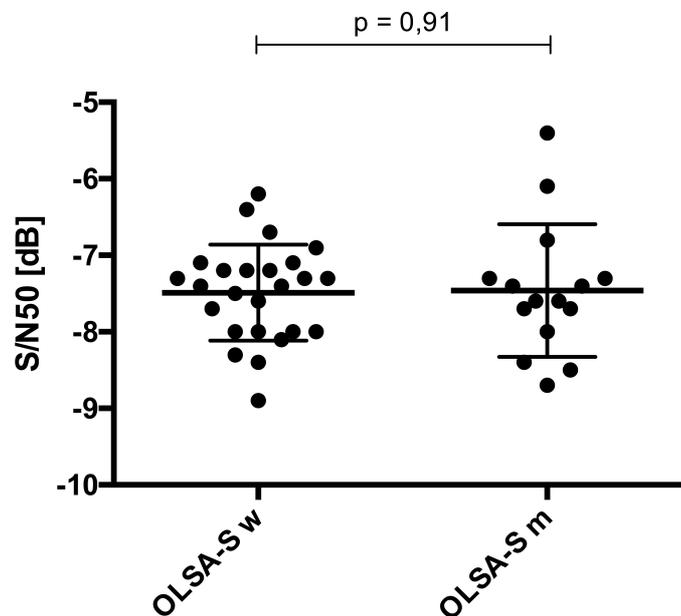


Abbildung 6: Vergleich der Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen in Dezibel (S/N50 [dB]) des Oldenburger Satztests im Störschall (OLSA-S) bei Probandinnen (OLSA-S w) und Probanden (OLSA-S m)

3.3.2 Ergebnisse des adaptiven Freiburger Einsilbertests im Störschall

Die mittleren Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen ergaben bei der Anwendung des aFBE-S bei Probandinnen $-1,76 \pm 0,62$ dB und bei Probanden $-1,98 \pm 0,79$ dB (siehe Abbildung 7). Es konnten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede nachgewiesen werden ($t = 0,89$; $p = 0,38$).

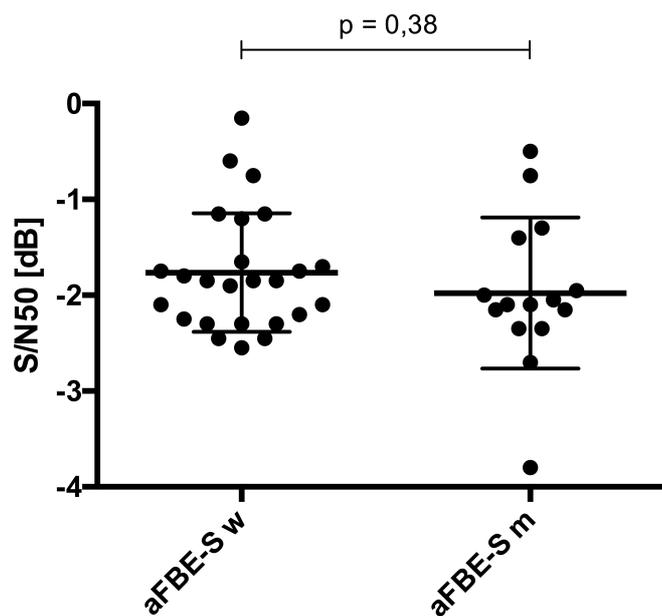


Abbildung 7: Vergleich der Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen in Dezibel (S/N50 [dB]) des adaptiven Freiburger Einsilbertests im Störschall (aFBE-S) bei Probandinnen (aFBE-S w) und Probanden (aFBE-S m)

3.4 Vergleich der Signal-Rausch-Abstände

Der kleinste Signal-Rausch-Abstand für das 50 %-Sprachverstehen betrug beim OLSA-S -8,9 dB, während es beim aFBE-S -3,8 dB waren. Dem gegenüber waren die größten S/N50 beim OLSA-S -5,4 dB und beim aFBE-S -0,15 dB (siehe Abbildung 8). Im geschlechtsunabhängigen Vergleich der Ergebnisse des OLSA-S und des aFBE-S, war der mittlere S/N50 beim OLSA-S mit $-7,48 \pm 0,72$ dB kleiner als bei Anwendung des aFBE-S mit $-1,84 \pm 0,69$ dB. Es konnte ein signifikanter Unterschied der S/N50 der verwendeten Tests nachgewiesen werden ($t = 35,49$; $p < 0,001$). Folglich wird die Nullhypothese 2 abgelehnt und die Alternativhypothese 2 angenommen.

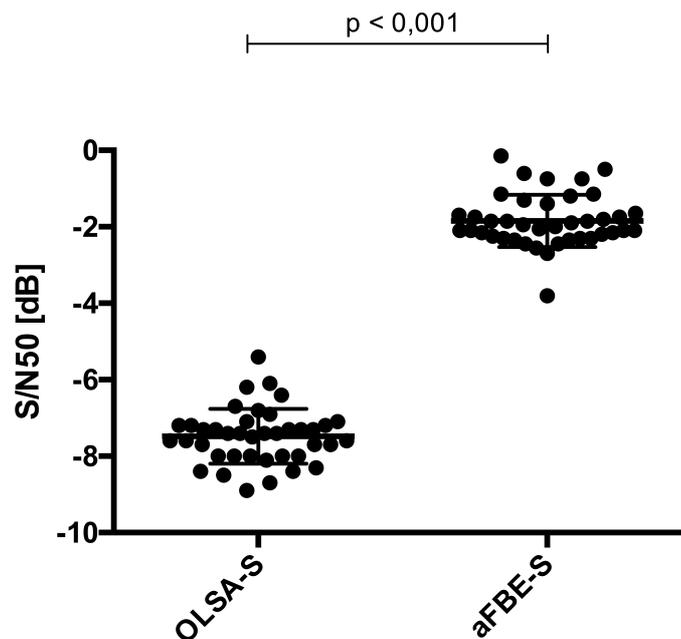


Abbildung 8: Vergleich der Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen in Dezibel (S/N50 [dB]) zwischen Oldenburger Satztest (OLSA-S) und adaptiven Freiburger Einsilbertest (aFBE-S) im Störschall

3.4.1 Korrelation der Signal-Rausch-Abstände

Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = -0,03$ bei 40 Messungen und einem p-Wert von $p = 0,87$ konnte mittels Pearson-Korrelation zwischen den Ergebnissen des OLSA-S und des aFBE-S keine Korrelation gezeigt werden (siehe Abbildung 9).

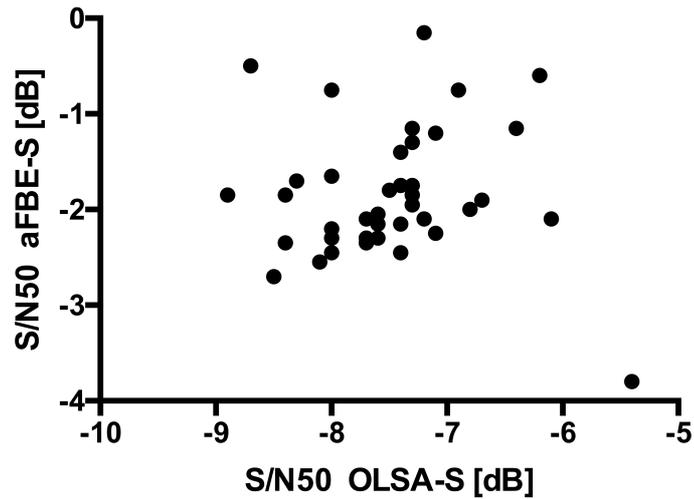


Abbildung 9: Streudiagramm der Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen des adaptiven Freiburger Einsilbertests im Störschall in Dezibel (S/N50 aFBE-S [dB]) und des Oldenburger Satztests im Störschall in Dezibel (S/N50 OLSA-S [dB])

4. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, die Auswirkungen einer adaptiven Sprachpegeländerung auf den FBE im Störschall zu untersuchen und diese mit dem ebenfalls adaptiv messenden OLSA im Störschall zu vergleichen. Dabei sollten insbesondere die Unterschiede hinsichtlich der Signal-Rausch-Abstände und des Zeitbedarfs untersucht werden. Angesichts des signifikanten Unterschieds der S/N50 und des Zeitbedarfs wurde jeweils die Alternativhypothese angenommen.

4.1 Studiendesign

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden der aFBE-S und der OLSA-S an jeder Probandin und jedem Probanden durchgeführt. Die Testreihenfolge und die Auswahl der Listen des FBE oder der Trainingsliste des OLSA erfolgte randomisiert. Dabei wurden die Messungen ausgewogen 20-mal mit dem aFBE-S und 20-mal mit dem OLSA-S begonnen. Mit einem Durchschnittsalter von 22,0 Jahren und der Überprüfung auf Normalhörigkeit mittels Tonaudiometrie wurden altersbedingte Einflussfaktoren auf das Arbeitsgedächtnis oder die Konzentrationsfähigkeit minimiert. Zudem wurde beim Vergleich des aFBE-S und des OLSA-S der gleiche Algorithmus angewendet, unter der Voraussetzung, dass sowohl bei der manuellen, als auch bei der Computer gestützten Version des OLSA-S der angeführte Algorithmus zur SprachpegelEinstellung verwendet wird [120]. Die Ergebnisse der aktuellen Diskussion zu den Kritikpunkten des FBE wurden durch Verzicht der nicht perzeptiv äquivalenten Testlisten 5, 11, 12 und 15, sowie durch Berücksichtigung des möglichen Trainingseffekts des FBE aufgegriffen.

Es kann kritisiert werden, dass der angewandte Algorithmus auf den OLSA-S ausgelegt ist und an eine steiler verlaufende Diskriminationsfunktion angepasst wurde. Dagegen ist anzuführen, dass in dieser Dissertation die prinzipielle Übertragung der adaptiven Messweise auf den FBE überprüft wurde. Eine weitere Evaluierung eines auf den aFBE-S abgestimmten Algorithmus erfolgte nicht.

Auf die Anwendung einer Trainingsliste für den aFBE-S, um mögliche prozedurale Lerneffekte durch eine ungewohnte Testsituation auszuschließen, wurde verzichtet [5], [87]. Zum einen wurde eine Hälfte der 40 Probandinnen und Probanden zuvor mit dem OLSA-S und einer Trainingsliste getestet, zum anderen wurden bei allen Studienteilnehmern nur die letzten 20 Sprachpegel des FBE für die Berechnung erfasst. So standen für jeden Studienteilnehmer mehr als zwei Testlisten des FBE zur Verfügung, um sich an die zunächst ungewohnte Testsituation zu gewöhnen.

Des Weiteren wurde auf eine adaptive Messung des FBZ im Störschall verzichtet, da die im Vergleich zu den Einsilbern steiler verlaufende Diskriminationsfunktion die Bestimmung der 50 %-SVS durch Interpolation ermöglicht und der FBZ bereits im Störschall untersucht wurde [12]. Darüber hinaus konnte zwischen der 50 %-SVS des FBZ und des adaptiv gemessenen GÖSA eine Korrelation nachgewiesen werden ($r = 0,98$; $n = 64$) [97]. Der FBZ dient einer schnellen und orientierenden Untersuchung, die durch eine adaptive Messung zeitaufwändiger wäre, sodass eine Änderung der Messweise nicht notwendig erscheint.

Ferner könnten kritisiert werden, dass die Lautsprecher zur Präsentation der Sprache und des Störschalls zwar gleich angeordnet waren (S_0N_0 -Situation), jedoch wurde als Störschall bei beiden Sprachverstehenstests ein unterschiedliches Rauschen verwendet. Dies könnte sich auf die Ergebnisse ausgewirkt haben. Beim aFBE handelte es sich um ein CCITT-Rauschen, während beim OLSA ein durch 30-fache Überlagerung generiertes Störgeräusch des zufällig zeitlich verschobenen Sprachmaterials angewendet wurde [107].

4.2 Zeitbedarf

Der Zeitaufwand für einen Sprachverstehenstest ist zum einen von der Anzahl der Testwörter und ihrer Präsentationsgeschwindigkeit abhängig, andererseits wirkt sich insbesondere auch das Antwortverhalten der Probandin oder des Probanden auf die Gesamtdauer des Tests aus. So kann die Wiedergabe der Testwörter

prompt oder erst zögerlich erfolgen, gleichzeitig kann dabei geraten oder es können nur Teile des Testsatzes nachgesprochen werden.

Der Messzeitaufwand für eine Testliste des FBE wird in der Literatur mit 1,5 Minuten (90 s) angegeben und die Zeitdauer einer Schwellenbestimmung mittels 13 Listen und drei bis vier unterschiedlichen Sprachpegeln mit 20 Minuten (1200 s) beziffert (Genauigkeit 2 dB) [51]. Bei der in dieser Dissertation durchgeführten adaptiven Bestimmung der 50 %-SVS des FBE wurden 7,5 Testlisten dargeboten und mittels 30 Sprachpegeln präsentiert (der 31. Sprachpegel wurde aus dem vorherigen gemäß Algorithmus berechnet). Die durchschnittliche Dauer betrug dabei 518 ± 31 s. Demnach ist eine Schwellenbestimmung für den FBE mittels des verwendeten adaptiven Verfahrens schneller als in der Literatur angegeben [120], obwohl die Einsilber bei bis zu 10-mal so häufigen verschiedenen Sprachpegeln präsentiert wurden. Ein Grund hierfür könnte die Unterteilung der Testlisten mit jeweils 20 Einsilbern in 5er-Gruppen sein. Während sich die Probandinnen und Probanden bei der Wiedergabe der Sätze des OLSA-S häufig nur den Anfang oder das Ende des Satzes merkten, um dann auf den Rest zu schließen, erfolgte die Antwort bei den Einsilbern häufig prompt. Bedingt durch die Verwendung von zwei Computern kam es nach jeder 5er-Gruppe zu einer kurzen Unterbrechung, um den neuen Sprachpegel einzustellen oder gegebenenfalls eine neue Testliste auszuwählen. Durch Einübung und die Anordnung beider PC waren diese Unterbrechungen zwar nur von kurzer Dauer, dennoch entsprachen sie kurzen Pausen im Messverlauf. Die darauffolgenden richtigen oder falschen Antworten erfolgten dann wie zuvor häufig kurz nach Präsentation der Einsilber. Im Vergleich mit dem OLSA-S zeigte die adaptive Messung des FBE im Störschall jedoch einen größeren Zeitbedarf. Die Anwendung des aFBE-S ließe sich durch Gebrauch einer automatischen Anwendungssoftware wie der des OLSA-S beschleunigen. Ungeachtet dessen erfordert eine durchschnittliche adaptive Messung des FBE im Störschall einen höheren Zeitaufwand, als die bisherige prozentuale Messweise bei drei verschiedenen Sprachpegeln mit jeweils einer Testliste [51].

Bei Betrachtung der durchschnittlichen Zeitdauer für die Messung des aFBE-S fällt auf, dass die Pausendauer zwischen den Einsilbern bei einer durchschnittlichen Messung mit ca. 3,5 s unter den geforderten 4 s lag [24]. Die Messung des

Zeitaufwands war den Probandinnen und Probanden zwar bekannt, erfolgte jedoch unauffällig. Zudem wurde der darauffolgende Einsilber erst nach Eingabe der Antwort durch den Versuchsleiter präsentiert und in den Probandeninstruktionen darauf hingewiesen, dass eine Antwort auch geraten werden kann. Die verkürzte Pausendauer zwischen den Einsilbern kann auf die Unterteilung der Testlisten in 5er-Gruppen und den damit verbundenen Pausen im Messverlauf mit darauffolgenden schnelleren Antworten zurückzuführen sein. Obwohl eine Erfüllung aller Kriterien der DIN EN ISO 8253-3 bei gleichzeitig hoher Praktikabilität als unwahrscheinlich betrachtet wird [44], wäre es wünschenswert, wenn die Bedingung eines modernen sprachaudiometrischen Verfahrens bezüglich der Pausendauer erfüllt worden wäre.

Der Messzeitaufwand für eine Testliste des OLSA-S wird mit 4 min (240 s) angegeben [51]. Mit einem in dieser Arbeit durchschnittlichen Zeitbedarf von 467 ± 37 s für die Messung von zwei Listen mit je 30 Sätzen, entsprechen die erhobenen Ergebnisse der Literatur. Jedoch ist nicht erläutert, ob der angegebene Zeitaufwand von 4 min auch die Anwendung von Trainingslisten mit 20 oder 30 Sätzen einbezieht [51]. Dadurch würde sich der Zeitbedarf für die Messung des OLSA-S erhöhen.

4.3 Einfluss der Präsentationsreihenfolge und des Geschlechts

Die Ergebnisse eines Sprachverstehenstests werden unter anderem von individuellen Faktoren wie der auditiven Merkspanne, der Konzentration oder der Aufmerksamkeit beeinflusst [44]. Die Randomisierung der Präsentationsreihenfolge könnte sich auf diese Weise auf die Ergebnisse des OLSA-S und des aFBE-S auswirken. Unter den 20 Probandinnen und Probanden, welche den aFBE-S als ersten Sprachverstehenstest vor dem OLSA-S durchführten, nahm keiner die maximale Pause von 30 Minuten in Anspruch. Bei der anderen Hälfte der Studienteilnehmer, welche die Messung mit dem OLSA begannen, wurde die Pause von Probandinnen und Probanden, jedoch nur mit maximal fünf Minuten, in Anspruch genommen. Die bereits beschriebenen Konzentrationsschwankungen durch Verwendung einer Trainingsliste oder durch Präsentation der teilweise

sinnfreien Sätze des OLSA-S könnten als Erklärung für diese Beobachtung bei Normalhörenden dienen, obwohl dies in der Literatur bisher bei älteren Patienten beschrieben wurde [45]. Trotz unterschiedlicher Inanspruchnahme dieser Pausen konnte für die S/N50 des OLSA-S und des aFBE-S mit unterschiedlicher Präsentationsreihenfolge kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Eine Erklärung für die fehlende Abhängigkeit des S/N50 von der Präsentationsreihenfolge könnte die in der Diskussion um einen möglichen Trainingseffekt des FBE angeführte Habituation an die Testsituation sein [87]. Vor der erstmaligen Messung des Oldenburger Satztests wurde bei bekanntem prozeduralem Lerneffekt eine Trainingsliste mit 30 Sätzen angewendet. Auch bei der Durchführung des aFBE-S kommt es durch die Anwendung des vom OLSA auf den FBE übertragenen Algorithmus zur einer Habituation [120]. Die ersten elf dargebotenen 5er-Gruppen des aFBE-S wirkten sich zwar auf den 12. präsentierten Sprachpegel aus, wurden jedoch nicht für die Berechnung des S/N50 berücksichtigt. Dadurch wurden die Probandinnen und Probanden sowohl mit den Einsilbern und deren Präsentation, als auch mit dem Testprozedere vertraut gemacht. Für die Berechnung des Ergebnisses wurden die Sprachpegel 12 bis 31, somit die letzten 20 Messungen, einbezogen. Demnach standen auch zum Ausgleich des prozeduralen Lerneffekts des OLSA-S, neben der Trainingsliste mit 30 Sätzen, weitere elf Sätze zur Verfügung. Der mögliche prozedurale Lerneffekt des FBE ist hingegen weiterhin umstritten, da sich Studien hierzu widersprechen [30], [87]. Es wurde nicht abschließend untersucht, ob Vorkenntnisse zum FBE oder zuvor durchgeführte sprachaudiometrische Tests wie der FBZ oder in dieser Dissertation der OLSA-S das Sprachverstehen beeinflussen [87]. Ein über Monate unterschiedlich ausgeprägter prozeduraler Lerneffekt des FBE und des OLSA könnte sich in der praktischen Anwendung beim Vergleich zweier Hörgeräte auswirken. Hinsichtlich der Auswirkung des Geschlechts auf das Sprachverstehen konnten auch bei der adaptiven Messweise des FBE im Störschall, wie zuvor in weiteren Studien beschrieben [59], [79], keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede der Ergebnisse nachgewiesen werden.

4.4 Vergleich der Signal-Rausch-Abstände

Im geschlechtsunabhängigen Vergleich der Ergebnisse des aFBE-S und des OLSA-S zeigte sich ein signifikanter Unterschied. So war der mittlere Signal-Rausch-Abstand für das 50 %-Sprachverstehen des OLSA-S kleiner als der des aFBE-S. Im Vergleich mit dem mittleren S/N50 des aFBE-S von $-1,84 \pm 0,69$ dB, ergab die nicht-adaptive Messung des FBE mit einem festen Signal-Rausch-Abstand von -2 dB (Sprachpegel: 65 dB und Störgeräusch: 67 dB) in einer vorherigen Studie mit einem mittleren Sprachverstehen von 47,8 % ein ähnliches Ergebnis [62]. Der Unterschied zwischen den S/N50 des OLSA-S und des aFBE-S könnte mit der Anwendung von Einsilbern erklärt werden, welche schwerer verständlich als ganze Sätze sind und dadurch eine Verschiebung der Diskriminationsfunktion mit höheren Sprachpegeln aufweisen [44]. Bei Normalhörenden ist der S/N50 im Allgemeinen kleiner als 0 dB und sowohl von dem individuellen Hörvermögen, dem präsentierten Sprachmaterial als auch dem dargebotenen Störschall abhängig [99]. Hierin unterschieden sich die verwendeten Sprachverstehentests. Während beim OLSA-S ein sprachsimulierendes Rauschen zur Anwendung kam, wurde beim aFBE-S das sogenannte CCITT-Rauschen mit einer unterschiedlichen Frequenzzusammensetzung verwendet. Zudem können sich die unterschiedlichen Präsentationsweisen trotz Anwendung des gleichen Algorithmus auf die Ergebnisse des OLSA-S und des aFBE-S ausgewirkt haben. Beim aFBE-S wurde jeder Einsilber nachgesprochen, beim OLSA-S hingegen können auch kognitive Funktionen durch das Nachsprechen ganzer Sätze getestet worden sein. Darüber hinaus unterschieden sich die Präsentationsweisen durch die Verwendung einer zusätzlichen Trainingsliste für den OLSA-S. Jedoch ergeben sich auch bei adaptiver Messweise von Satztests verschiedene Normwerte. Der S/N50 bei Normalhörenden wird für den GÖSA mit -6 dB angegeben und für den OLSA mit -7,1 dB beziffert [104], [106], sodass sich besonders das unterschiedliche Sprachmaterial und Störgeräusch auf die S/N50 ausgewirkt haben können.

4.5 Bedeutung für die klinische Praxis

Analog zum OLSA-S ließe sich eine für den aFBE-S spezifische Diskriminationsfunktion bestimmen und evaluieren [104]. Dagegen wird argumentiert, dass die phonemische Unausgewogenheit des FBE eine adaptive Pegelsteuerung und damit auch die Bestimmung einer Diskriminationsfunktion als nicht sinnvoll erscheinen lassen [37]. Auf Listenebene hingegen zeigte sich kürzlich beim FBE entgegen der Kritik eine relativ geringe Abweichung von der Phonemverteilung der deutschen Sprache [27]. Dies gilt jedoch nicht für die Anwendung von halben Testlisten oder einer weiteren Unterteilung wie die in dieser Dissertation durchgeführten 5er-Gruppen. So wurde 1953 von Hahlbrock angeführt, dass die Messung mit halben Testlisten ungenau sei, da nur ganze Listen phonetisch ausgewogen seien [33]. Mit einer Unterteilung in jeweils fünf Einsilber oder mit der Verwendung von halben Testlisten könnte die für ganze Testlisten geltende relative phonemische Ausgewogenheit aufgehoben worden sein und sich auf diese Weise auf das Ergebnis ausgewirkt haben. Andererseits wiesen die S/N50 des OLSA-S als auch die des aFBE-S bei Normalhörenden eine vergleichsweise kleine Streuung auf. Ferner ist für die Messung des aFBE-S ein höherer Zeitbedarf notwendig und kann aufgrund der beschränkten Anzahl der Testlisten nur zweimal pro Person angewendet werden, ohne dass sich die Testlisten wiederholen. Angesichts der, wie in Tabelle 5 exemplarisch dargestellten, kleinen Streuung der Sprachpegel im Verlauf der Messung des aFBE-S, ist jedoch zu diskutieren, ob eine geringere Anzahl an Einsilber ausgereicht hätte, um den S/N50 zu ermitteln. Dadurch würde sich auch der Zeitaufwand einer Messung des aFBE-S verringern.

Für die bisherige prozentuale Messung des FBE spricht die Praktikabilität mit gleichzeitig geringerem Zeitaufwand, die einfache Interpretierbarkeit der Ergebnisse und der große Erfahrungsschatz von über 60 Jahren. Insbesondere für die Begutachtung und für statistische Erhebungen ist eine retrospektive und zukünftige Vergleichbarkeit der Ergebnisse von hervorgehobener Bedeutung [28], [29]. Aus diesem Grund und wegen ihrer einfachen Durchführbarkeit werden international die ähnlichen PB-Tests trotz des zunehmenden Gebrauchs von Satztests weiterhin angewendet [56], [64]. Die Einführung einer adaptiven Untersuchungsmethode würde für die Begutachtung der

beruflichen Lärmschwerhörigkeit die Bestimmung neuer Hörverlusttabellen voraussetzen, wobei aufgrund der spezifischen Normwerte der unterschiedlichen adaptiv gemessenen Sprachverstehenstests verschiedene Tabellen zur Verfügung stünden und gerade eine Nachbegutachtung erschweren würden [14]. Bisher sind jedoch keine absoluten Zielgrößen für adaptiv messende Sprachverstehenstests formuliert [42]. Gleichzeitig ist das Vorhalten verschiedener Tests für niedergelassene HNO-Ärzte ein nicht zu unterschätzender Kostenfaktor. Des Weiteren ist die weitere Nutzung des möglichen adaptiven FBE in Kombination mit dem interpolierend messenden FBZ für die Differentialdiagnostik einer Schwerhörigkeit ungeklärt. Bereits erwähnt wurden die Nachteile der adaptiven Pegelsteuerung im Zusammenhang mit dem OLSA bei Cochlea-Implantat-Nutzern oder die frustrane beziehungsweise technisch nicht mögliche Bestimmung des S/N50 bei hochgradig Schwerhörenden.

Bisher sind keine Umrechnungsfaktoren entwickelt worden, um die unterschiedlichen Sprachverstehenstests direkt miteinander vergleichen zu können [44]. Dies liegt zum einen an dem verschiedenartigen Aufbau von Wort- und Satztests, sowie an den unterschiedlichen Messweisen, wie zwischen dem adaptiven OLSA und dem nicht-adaptiven FBE. Zum anderen würde die Entwicklung von Umrechnungsfaktoren die verschiedenen Sprachverstehenstests gleichwertig und damit überflüssig machen [44], es sei denn, dass der zu vergleichende Test eine höhere Genauigkeit aufweist. Für diese Untersuchung müssten jedoch die unterschiedlichen Messmethoden vergleichbar sein, weshalb in dieser Dissertation, trotz der zurzeit bestehenden Vorteile der bisherigen prozentualen Messung des FBE, erstmalig der gleiche adaptive Messalgorithmus angewendet wurde.

Auch wenn eine vollständige Übereinstimmung der Ergebnisse nicht gewährleistet werden kann, wird eine Kontinuität und Vergleichbarkeit in der Sprachaudiometrie gefordert [44], [70]. Dies ist beim Vergleich der Ergebnisse von Wort- und Satztests jedoch schwierig. So zeigte sich zwischen dem adaptiven finnischen Matrixtest und dem bisherigen finnischen Worttest nur eine schwache Korrelation ($r = -0,38$; $p < 0,001$) [19], während beim Vergleich des deutschen Matrixtests, dem OLSA, mit dem FBE nur bei Berücksichtigung des besten Quartils eine Korrelation

nachweisbar war und sich ansonsten keine Korrelation zeigte ($r = -0,18$; $p = 0,13$) [48]. Dies könnte auf die verschiedenen Störgeräusche oder die unterschiedliche Messweise zurückzuführen sein.

In dieser Dissertation zeigten die Ergebnisse des OLSA-S und des aFBE-S bei Anwendung des gleichen Algorithmus ebenfalls keine Korrelation ($r = -0,03$; $p = 0,87$), sodass hierfür nicht die unterschiedliche Messweise, sondern das präsentierte Sprachmaterial mit den spezifischen Diskriminationsfunktionen, zusammen mit dem unterschiedlichen Störgeräusch ursächlich erscheint. In verschiedenen Studien konnte eine Verknüpfung der kognitiven Leistung mit den sprachaudiometrischen Ergebnissen gezeigt werden. Das Nachsprechen von komplexen Sätzen, wie die teilweise sinnfreien Sätze des OLSA-S, könnte insbesondere bei einer Hörminderung mehr von den kognitiven Funktionen abhängig sein, als das Nachsprechen der Einsilber des FBE [16], [82], [103]. Auf der anderen Seite sind mehrsilbige Wörter wie im OLSA-S durch eine höhere Redundanz besser zu verstehen als Einsilber [95]. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass die unterschiedlichen Ergebnisse bei Normalhörenden allein durch die Messreliabilität zu erklären sind. Möglicherweise ließe sich durch die Untersuchung von Schwerhörenden eine Korrelation der S/N50 beider Sprachverstehenstests nachweisen.

Die adaptiven Matrixtests wie der OLSA weisen gerade durch ihren universalen Aufbau, der steilen Diskriminationsfunktion im Störschall und durch die Verwendung von gebräuchlicher Umgangssprache Vorteile bei internationalen Studien oder bei Untersuchungen zum Sprachverstehen in mehrsprachigen Ländern auf [10]. Die hohe Messgenauigkeit ist durch umfangreiche Optimierungen der Testlisten erreicht worden, dennoch bleiben die genannten Nachteile in der praktischen Durchführung. Außerdem kann durch Lerneffekte die hohe Messgenauigkeit im Verlauf zunichte gemacht werden [86]. Aufgrund seiner vorhandenen Vorteile sollte der FBE, wie schon der PB-Test von Egan, besonders hinsichtlich der kritisierten Bekanntheit der Einsilber weiterentwickelt werden [42], [94]. Erste Schritte und Vorgehensweisen zur Selektion von möglichen Einsilbern wurden bereits in Dissertationen diskutiert [61], [81].

Auch bei Anwendung eines gleichen Algorithmus für die adaptive Sprachpegeländerung unterschieden sich der aFBE-S und der OLSA-S im verwendeten Störschall, der Präsentationsweise und im Sprachmaterial, wodurch ein Vergleich beider Sprachverstehenstests nur bedingt möglich bleibt. Gegenwärtig überwiegen die Vorteile der bisherigen prozentualen Messweise des FBE gegenüber der adaptiven Pegeländerung. Angesichts der geringen Streuung der S/N50 des aFBE-S bei Normalhörenden, konnte eine adaptive Sprachpegeländerung entgegen der Kritik [37] auf den Freiburger Einsilbertest übertragen werden. Die Ergebnisse des Vergleichs zwischen dem FBE als Worttest und dem OLSA als Satztest bei gleicher adaptiver Pegeländerung im Störschall, sowie die in dieser Dissertation nachgewiesene fehlende Korrelation der Ergebnisse bei normalhörenden Probandinnen und Probanden, lassen darauf schließen, dass die bisherigen Vergleiche des FBE mit verschiedenen Sprachverstehenstests [11], [48], [96], [97] und unterschiedlichen Messweisen nur eingeschränkt möglich sind. Demnach können Wort- und Satztests nur unabhängig voneinander und nicht ersatzweise verwendet werden.

Da es keine normale Umgangssprache und keine einheitliche akustische Umweltreaktion gibt, bedarf es letztlich bei allen sprachaudiometrischen Untersuchungen als Funktionsprüfungen einer gewissen Standardisierung und Abstraktion, wie der Anwendung von Einsilbern anstatt Umgangssprache [29]. Hieraus ergibt sich, wie schon 1953 bei der Entwicklung des Freiburger Sprachtests beschrieben, ein Kompromiss aus Praktikabilität und Messgenauigkeit mit jeweiligen Vor- und Nachteilen [33], weshalb zukünftig in der Sprachaudiometrie wahrscheinlich weiterhin adaptive Satztests wie der GÖSA oder der OLSA und Wort- und Zahlentests wie der Freiburger Sprachtest angewendet werden [117], [122].

5. Zusammenfassung

Hintergrund: Für die Indikationsstellung der Hörgeräteversorgung ist die Ton- und die Sprachaudiometrie, bestehend aus Wort- und Satztests, unverzichtbar. Während sich die adaptive Messweise unter den Satztests etabliert hat, ist sie bei Worttests wie dem Freiburger Einsilbertest noch nicht angewendet worden. Da sich Wort- und Satztests mit unterschiedlichen Messweisen nur bedingt vergleichen lassen, war es Ziel dieser Dissertation, die adaptive Messweise auf den Freiburger Einsilbertest im Störschall zu übertragen und die Ergebnisse mit dem adaptiv gemessenen Oldenburger Satztest im Störschall zu vergleichen.

Material und Methoden: An 40 otologisch gesunden und normalhörenden Probandinnen und Probanden im Alter zwischen 18 und 25 Jahren wurde in randomisierter Reihenfolge sowohl der adaptiv gemessene Freiburger Einsilbertest, als auch der Oldenburger Satztest im Störschall durchgeführt und die Ergebnisse bezüglich ihres Zeitbedarfs, möglicher geschlechtsspezifischer Unterschiede und der Präsentationsreihenfolge ausgewertet und auf eine Korrelation untersucht.

Ergebnisse: Der Zeitaufwand für die adaptive Messung des Freiburger Einsilbertests war mit durchschnittlich 518 ± 31 Sekunden größer als für den ebenfalls adaptiv gemessenen Oldenburger Satztest mit 467 ± 37 Sekunden. Hinsichtlich möglicher geschlechtsspezifischer Unterschiede oder der Präsentationsreihenfolge ließen sich keine signifikanten Unterschiede nachweisen. Der mittlere Signal-Rausch-Abstand für das 50 %-Sprachverstehen des Oldenburger Satztests war mit $-7,48 \pm 0,72$ Dezibel kleiner als bei Anwendung des adaptiv gemessenen Freiburger Einsilbertests mit $-1,84 \pm 0,69$ Dezibel. Die Signal-Rausch-Abstände für das 50 %-Sprachverstehen des Freiburger Einsilber- und des Oldenburger Satztests zeigten einen signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) und wiesen keine Korrelation ($r = -0,03$; $p = 0,87$) auf.

Schlussfolgerung: Die adaptive Sprachpegeländerung konnte erstmals auf den Freiburger Einsilbertest im Störschall übertragen werden. Die Ergebnisse adaptiver Satz- und Einsilbertests sind nur unabhängig voneinander und nicht ersatzweise anwendbar.

6. Literaturverzeichnis

1. Akeroyd MA (2008) Are individual differences in speech reception related to individual differences in cognitive ability? A survey of twenty experimental studies with normal and hearing-impaired adults. *Int J Audiol* 47:53–71
2. Alich G (1985) Anmerkungen zum Freiburger Sprachverständnistest (FST). *Sprache Stimme Gehör* 9:1–6
3. Amersbach K, Meister FJ (1950) Ein Wortkatalog für isophone Sprachgehörprüfung. *Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd* 157:352–358
4. Baljić I, Hoppe U (2016) Der Freiburger Einsilbertest auf dem Prüfstand. *HNO* 64:538–539
5. Baljić I, Winkler A, Schmidt T, Holube I (2016) Untersuchungen zur perzeptiven Äquivalenz der Testlisten im Freiburger Einsilbertest. *HNO* 64:572–583
6. Bangert H (1980) Probleme bei der Ermittlung des Diskriminationsverlustes nach dem Freiburger Sprachtest. *Audiol Akust* 19:166–170
7. Batsoulis C, Lesinski-Schiedat A (2017) Sprachaudiometrie in der Begutachtung des Hörvermögens. *HNO* 65:203–210
8. Boenninghaus HG, Röser D (1973) Neue Tabellen zur Bestimmung des prozentualen Hörverlustes für das Sprachgehör. *Z Laryngol Rhinol Otol* 52:153–161
9. Brand T, Kollmeier B (2002) Efficient adaptive procedures for threshold and concurrent slope estimates for psychophysics and speech intelligibility tests. *J Acoust Soc Am* 111:2801–2810
10. Brand T, Wagener KC (2017) Eigenschaften, Leistungen und Grenzen von Matrixtests. *HNO* 65:182–188
11. Brand T, Wittkop T, Wagener K (2004) Vergleich von Oldenburger Satztest und Freiburger Wörkertest als geschlossene Versionen. 7. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Leipzig
12. Braun T, Leisering B, Krause E, Schorn K, Hempel JM (2012) Beidohriger Zahlentest im Störgeräusch nach Sauer. *HNO* 60:886–891
13. Brinkmann K (1974) Die Neuaufnahme der „Wörter für Gehörprüfung mit Sprache“. *Z Hörgeräteakust* 13:12–40

14. Brusis T, Wolf U, Meister EF (2013) Die Königsteiner Empfehlung von 2012 - Wesentliche Neuerungen und Änderungen. *Laryngo-Rhino-Otol* 92:647-654
15. Buschermöhle M, Wagener KC, Kollmeier B (2016) Sprachaudiometrische Messungen mit dem verkürzten Oldenburger Satztest OLKISA bei Erwachsenen. *Z Audiol* 55:6–13
16. Coene M, Krijger S, Meeuws M, De Ceulaer G, Govaerts PJ (2016) Linguistic Factors Influencing Speech Audiometric Assessment. *Biomed Res Int* 2016:1–14
17. Dieroff HG, Mangoldt W (1989) Erfahrungen mit dem verhallten Freiburger Sprachtest - Diagnostik und Rehabilitation von Hörstörungen. *Laryngo-Rhino-Otol* 68:372–378
18. Dieroff HG, Meißner W (1985) Verhallter Freiburger Sprachtest. *Laryngo-Rhino-Otol* 64:466–469
19. Dietz A, Buschermöhle M, Sivonen V, Willberg T, Aarnisalo AA, Lenarz T, Kollmeier B (2015) Characteristics and international comparability of the Finnish matrix sentence test in cochlear implant recipients. *Int J Audiol* 54:80-87
20. DIN 45621-1 (1995) Sprache für Gehörprüfung - Teil 1: Ein- und mehrsilbige Wörter. Beuth, Berlin
21. DIN 45626-1 (1995) Tonträger mit Sprache für Gehörprüfung - Teil 1: Tonträger mit Wörtern nach DIN 45621-1 (Aufnahme 1969). Beuth, Berlin
22. DIN EN ISO 8253-1 (2011) Akustik - Audiometrische Prüfverfahren - Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleitungs-Schwellenaudiometrie mit reinen Tönen. Beuth, Berlin
23. DIN EN ISO 8253-2 (2010) Akustik - Audiometrische Prüfverfahren - Teil 2: Schallfeld-Audiometrie mit reinen Tönen und schmalbandigen Prüfsignalen. Beuth, Berlin
24. DIN EN ISO 8253-3 (2012) Akustik - Audiometrische Prüfverfahren - Teil 3: Sprachaudiometrie. Beuth, Berlin
25. Döring WH, Hamacher V (1992) Neue Sprachverständlichkeitstests in der Klinik: Aachener Logatomtest und „Dreinsilbertest“ mit Störschall. In: Kollmeier B (Hrsg) *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. 137-168, Median, Heidelberg
26. Egan JP (1948) Articulation Testing Methods. *Laryngoscope* 58:955–991

27. Exter M, Winkler A, Holube I (2016) Phonemische Ausgewogenheit des Freiburger Einsilbertests. HNO 64:557–563
28. Feldmann H (2004) 200 Jahre Hörprüfungen mit Sprache, 50 Jahre deutsche Sprachaudiometrie - ein Rückblick. Laryngo-Rhino-Otol 83:735–742
29. Feldmann H, Brusis T (2012) Das Gutachten des Hals-Nasen-Ohren-Arztes, 7. Auflage, 128-132, Georg Thieme, Stuttgart
30. Franz S, Rosanowski F, Eysholdt U, Hoppe U (2011) Freiburger Sprachverständnistest bei jugendlichen Sprachheilschülern. Sprache Stimme Gehör 35:105–110
31. Getzmann S, Golob EJ, Wascher E (2016) Focused and divided attention in a simulated cocktail-party situation: ERP evidence from younger and older adults. Neurobiol Aging 41:138–149
32. Hagerman B (1982) Sentences for testing speech intelligibility in noise. Scand Audiol 11:79–87
33. Hahlbrock KH (1953) Über Sprachaudiometrie und neue Wörtertete. Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd 162:394–431
34. Hahlbrock KH (1970) Sprachaudiometrie - Grundlagen und praktische Anwendung einer Sprachaudiometrie für das deutsche Sprachgebiet. 2. Auflage, Georg Thieme, Stuttgart
35. von Helmholtz H (1863) Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. 5. Ausgabe, Vieweg und Sohn, Braunschweig
36. Hernvig LH, Olsen SØ (2005) Learning effect when using the Danish Hagerman sentences (Dantale II) to determine speech reception threshold. Int J Audiol 44:509–512
37. Hey M, Brademann G, Ambrosch P (2016) Der Freiburger Einsilbertest in der postoperativen CI-Diagnostik. HNO 64:601–607
38. Hey M, Hocke T, Hedderich J, Müller-Deile J (2014) Investigation of a matrix sentence test in noise : Reproducibility and discrimination function in cochlear implant patients. Int J Audiol 53:895–902
39. Hirsh IJ, Davis H, Silverman SR, Reynolds EG, Eldert E, Benson RW (1952) Development of materials for speech audiometry. J Speech Hear Disor 17:321–337

40. Hochmair-Desoyer I, Schulz E, Moser L, Schmidt M (1997) The HSM sentence test as a tool for evaluating the speech understanding in noise of cochlear implant users. *Am J Otol* 18:83
41. Hochmuth S, Brand T, Zokoll M, Castro FZ, Wardenga N, Kollmeier B (2012) A Spanish matrix sentence test for assessing speech reception thresholds in noise. *Int J Audiol* 51:536–544
42. Hoppe U (2016) Hörgeräteerfolgskontrolle mit dem Freiburger Einsilbertest. *HNO* 64:589–594
43. Hoppe U, Hast A, Hocke T (2015) Audiometry-Based Screening Procedure for Cochlear Implant Candidacy. *Otol Neurotol* 36:1001–1005
44. Hoth S (2016) Der Freiburger Sprachtest. Eine Säule der Sprachaudiometrie im deutschsprachigen Raum. *HNO* 64:540–548
45. Hoth S, Baljić I (2017) Aktuelle audiologische Diagnostik. *Laryngo-Rhino-Otol* 96:4–42
46. Kießling J (2000) Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. *Laryngo-Rhino-Otol* 79:633–635
47. Kießling J (2010) Moderne Sprachtests auf dem Weg von der Forschung in die Praxis. Anspruch und Realität. *HNO* 58:595–596
48. Knief A, Schmidt CM, Deuster D, Rosslau K, Matulat P, am Zehnhoff-Dinnesen A (2010) Vergleich des Freiburger Einsilbertests und des Oldenburger Satztests bei Cochlea-Implantat-Trägern. 27. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGPP, Aachen
49. Koch J, Weiland E (1950) Investigations on the relation between the audiometric curve and the understanding of speech. *Z Laryngol Rhinol Otol* 29:423–429
50. Kollmeier B, Lenarz T, Kießling J, Müller-Deile J, Steffens T, von Wedel H, Döring WH, Buschermöhle M, Wagener K, Brand T (2014) Zur Diskussion um den Freiburger Einsilbertest. *HNO* 62:49–53
51. Kollmeier B, Lenarz T, Winkler A, Zokoll MA, Sukowski H, Brand T, Wagener KC (2011) Hörgeräteindikation und -überprüfung nach modernen Verfahren der Sprachaudiometrie im Deutschen. *HNO* 59:1012–1021
52. Kollmeier B, Warzybok A, Hochmuth S, Zokoll MA, Uslar V, Brand T, Wagener KC (2015) The multilingual matrix test: principles, applications, and comparison across languages: a review. *Int J Audiol* 54:3–16

53. Kollmeier B, Wesselkamp M (1997) Development and evaluation of a German sentence test for objective and subjective speech intelligibility assessment. *J Acoust Soc Am* 102:2412–2421
54. Kompis M, Krebs M, Häusler R (2005) Überprüfung der Bezugskurven der Schweizer Version des Freiburger Zahlen- und Einsilbertests. *HNO* 54:445-450
55. Lazarus H, Sust CA, Steckel R, Kulka M, Kurtz P (2007) *Akustische Grundlage sprachlicher Kommunikation*. 1. Auflage, 30-434, Springer, Berlin
56. Lee HJ, Lee JM, Choi JY, Jung J (2017) Evaluation of Maximal Speech Intelligibility With Vibrant Soundbridge in Patients With Sensorineural Hearing Loss. *Otol Neurotol* 38:1246–1250
57. Lehiste I, Peterson GE (1959) Vowel Amplitude and Phonemic Stress in American English. *J Acoust Soc Am* 31:428–435
58. Lin FR, Yaffe K, Xia J, Xue QL, Harris TB, Purchase-Helzner E, Satterfield S, Ayonayon HN, Ferrucci L, Simonsick EM (2013) Hearing Loss and Cognitive Decline Among Older Adults. *JAMA Intern Med* 173:293–299
59. Löhler J, Akcicek B, Pilnik M, Saager-Post K, Dazert S, Biedron S, Oeken J, Mürbe D, Löbert J, Laszig R, Wesarg T, Langer C, Plontke S, Rahne T, Machate U, Noppeney R, Schultz K, Plinkert P, Hoth S, Praetorius M, Schlattmann P, Meister EF, Pau HW, Ehrt K, Hagen R, Shehata-Dieler W, Cebulla M, Walther LE, Ernst A (2013) Evaluation des Freiburger Einsilbertests im Störschall. *HNO* 61:586–591
60. Löhler J, Akcicek B, Wollenberg B, Schönweiler R, Verges L, Langer C, Machate U, Noppeney R, Schultz K, Kleeberg J, Junge-Hülsing B, Walther LE, Schlattmann P, Ernst A (2014) Results in using the Freiburger monosyllabic speech test in noise without and with hearing aids. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology* 272:2135–2142
61. Mahfoud M (2009) *Neuaufsprache und Evaluation des Einsilber-Sprachverständnistests*. Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg
62. Mallinger E (2011) *Trainingseffekte und Listenäquivalenz des Freiburger Einsilbertests im Störschall*. Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

63. Meister H (2017) Sprachaudiometrie, Sprachwahrnehmung und kognitive Funktionen. HNO 65:189–194
64. Mendel LL, Mustain WD, Magro J (2014) Normative Data for the Maryland CNC Test. J Am Acad Audiol 25:775–781
65. Mlynski R, Plontke S (2009) Cochleaimplantatversorgung bei Kindern und Jugendlichen. HNO 61:388–398
66. Mühler R, Ziese M, Rostalski D, Verhey JL (2014) Zur Wahrnehmung verhallter Sprache mit Cochleaimplantaten. HNO 62:35–40
67. Mühler R, Ziese M, Verhey JL (2017) Sprecherunterscheidung mit Cochleaimplantaten. HNO 65:243–250
68. Müller-Deile J (1994) Das Cochlear Implant – neues Hören für beidseits Taube. Z Med Phys 4:185–193
69. Müller A, Hocke T, Hoppe U, Mir-Salim P (2016) Der Einfluss des Alters bei der Evaluierung des funktionellen Hörgerätenutzens mittels Sprachaudiometrie. HNO 64:143–148
70. Müller J, Plontke SK, Rahne T (2017) Sprachaudiometrische Zielparameter in klinischen Studien zur Hörverbesserung. HNO 65:211–218
71. Niemeyer W (1967) Sprachaudiometrie mit Sätzen. I. Grundlagen und Testmaterial einer Diagnostik des Gesamtsprachverständnisses. HNO 15:335–343
72. Peterson GE, Lehiste I (1962) Revised CNC Lists for Auditory Tests. J Speech Hear Disor 27:62–70
73. Plath I, Doerr L (1992) Vergleichende sprachaudiometrische Untersuchungen mit Compact Disc. Laryngo-Rhino-Otol 71:530–533
74. Plath P (1971) New recording of the Freiburg speech discrimination test. HNO 19:282–284
75. Plath P, Stühlen HW, Graf H, Pelzer H (1973) Investigations on the intelligibility of a new record of the German Freiburg speech discrimination test. Z Laryngol Rhinol Otol 52:457–469
76. Plontke S, Bauer M, Meisner C (2007) Comparison of pure-tone audiometry analysis in sudden hearing loss studies: lack of agreement for different outcome measures. Otol Neurotol 28:753–763
77. Probst R (2013) Moderne Sprachaudiometrie in der Begutachtung? HNO 61:12–13

78. Ptok M, Kießling J (2004) Sprachperzeption. Basis sprachaudiometrischer Untersuchungen. HNO 52:824–830
79. Ptok M, Lichte C, Buller N, Wink T, Kuske S, Naumann CL (2005) Ist die Lautdiskriminationsfähigkeit geschlechtsabhängig? Laryngo-Rhino-Otol 84:20–23
80. Puglisi G, Warzybok A, Hochmuth S, Visentin C, Astolfi A, Prodi N, Kollmeier B (2015) An Italian matrix sentence test for the evaluation of speech intelligibility in noise. Int J Audiol 54:44–50
81. Qualen JF (2010) Evaluation des Einsilber-Sprachmaterials M-2007 und Entwurf einer Methodik für die Zusammenstellung gleichwertiger Listen. Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg
82. Rählmann S, Meister H (2017) Sprachaudiometrische Erfassung von „informational masking“. HNO 65:228–236
83. Röser D (1963) Sprachgehör und Tonaudiogramm. Z Laryngol Rhinol Otol 42:851–862
84. Rönnberg J, Lunner T, Zekveld A, Sörqvist P, Danielsson H, Lyxell B, Dahlström O, Signoret C, Stenfelt S, Pichora-Fuller MK, Rudner M (2013) The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. Front Syst Neurosci 7:31
85. Scheich M, Ehrmann-Müller D, Shehata-Dieler W, Hagen R (2017) Hörergebnisse nach transtemporaler Resektion kleiner (T1/T2) Akustikusneurinome. HNO 65:751–757
86. Schlüter A, Holube I, Lemke U (2012) Trainingseffekte bei normaler und schneller Sprache. 15. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Erlangen
87. Schmidt T, Baljic I (2016) Untersuchung zum Trainingseffekt des Freiburger Einsilbertests. HNO 64:584–588
88. Schubert K (1950) Vergleich alter und neuer Hörprüfmethoden. Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd 157:99–116
89. Schubert K (1950) Der klinische Wert verschiedener audiometrischer Methoden. Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd 157:328–340
90. Schultz-Coulon HJ (1974) Sprachaudiometrie mit Sätzen und Geräusch. Laryngo-Rhino-Otol 53:734–749

91. Sotscheck J (1982) Ein Reimtest für Verständlichkeitsmessungen mit deutscher Sprache als ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der Sprachübertragungsgüte. *Der Fernmeldeingenieur* 36:1–17
92. Souza P, Arehart K, Neher T (2015) Working Memory and Hearing Aid Processing : Literature Findings , Future Directions , and Clinical Applications. *Front Psychol* 6:1–12
93. Speckmann EJ, Hescheler J, Köhling R (2013) *Physiologie*. 6. Auflage, 123-126, Urban & Fischer, München
94. Steffens T (2016) Verwendungshäufigkeit der Freiburger Einsilber in der Gegenwartssprache. Aktualität der Testwörter. *HNO* 64:549–556
95. Steffens T (2017) Die systematische Auswahl von sprachaudiometrischen Verfahren. *HNO* 65:219–227
96. Sukowski H, Brand T, Wagener KC, Kollmeier B (2009) Untersuchung zur Vergleichbarkeit des Freiburger Sprachtests mit dem Göttinger Satztest und dem Einsilber-Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier. *HNO* 57:239-250
97. Sukowski H, Brand T, Wagener KC, Kollmeier B (2010) Vergleich des Göttinger Satztests und des Einsilber-Reimtests nach von Wallenberg und Kollmeier mit dem Freiburger Sprachtest. Untersuchung bei einem klinisch repräsentativen Probandenkollektiv. *HNO* 58:597–604
98. Sukowski H, Wagener KC, Thiele C, Uppenkamp S, Kollmeier B (2013) Der Einsatz neuer Testverfahren zur Erfassung des Sprachverstehens in Ruhe bei der Begutachtung erworbener Schwerhörigkeiten. *HNO* 61:14–24
99. Thiele C, Sukowski H, Lenarz T, Lesinski-Schiedat A (2012) Göttinger Satztest im Störgeräusch für verschiedene Gruppen von Schwerhörigkeit. *Laryngo-Rhino-Otol* 91:782–788
100. Thiele C, Sukowski H, Wagener K, Kollmeier B, Lenarz T, Lesinski-Schiedat A (2011) Hörverlustbestimmung und MdE-Abschätzung unter Einbezug von Sprachverständlichkeitsmessungen im Störgeräusch. *HNO* 59:1111–1117
101. Thiele C, Wardenga N, Lenarz T, Büchner A (2014) Überprüfung der Vergleichbarkeit von Freifeld- und HDA200-Kopfhöreremessungen für den Freiburger Sprachtest. *HNO* 62:115–120

102. Thümmler R, Liebscher T, Hoppe U (2016) Einfluss einer Hörgeräteversorgung auf das Einsilberverstehen und das subjektiv erlebte Alltagshören. HNO 64:595–600
103. Uslar V, Ruigendijk E, Hamann C, Brand T, Kollmeier B (2011) How does linguistic complexity influence intelligibility in a German audiometric sentence intelligibility test? Int J Audiol 50:621–631
104. Wagener K, Brand T, Kollmeier B (1999) Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache Teil III: Evaluation des Oldenburger Satztests. Z Audiol 38:86–95
105. Wagener K, Brand T, Kollmeier B (1999) Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache Teil II: Optimierung des Oldenburger Satztests. Z Audiol 38:44–56
106. Wagener K, Kollmeier B (2004) Göttinger und Oldenburger Satztest. Z Audiol 43:134–141
107. Wagener K, Kühnel V, Kollmeier B (1999) Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. Z Audiol 38:4–15
108. Wagener KC, Kollmeier B (2005) Evaluation des Oldenburger Satztests mit Kindern und Oldenburger Kinder-Satztest. Z Audiol 44:134–143
109. von Wallenberg EL, Kollmeier B (1989) Sprachverständlichkeitsmessungen für die Audiologie mit einem Reimtest in deutscher Sprache: Erstellung und Evaluation von Testlisten. Audiol Akust 28:50–65
110. von Wedel H (1986) Untersuchungen zum Freiburger Sprachtest - Vergleichbarkeit der Gruppen im Hinblick auf Diagnose und Rehabilitation (Hörgeräteanpassung und Hörtraining). Audiol Akust 25:60–73
111. Welge-Lüssen A, Hauser R, Erdmann J, Schwob C, Probst R (1997) Sprachaudiometrie mit Logatomen. Laryngo-Rhino-Otol 76:57–64
112. Wesker T, Meyer B, Wagener K, Anemüller J, Mertins A, Kollmeier B (2005) Oldenburg Logatome Speech Corpus (OLLO) for Speech Recognition Experiments with Humans and Machines. Proceedings of Interspeech 1273-1276
113. Wesselkamp M, Kliem K, Kollmeier B (1992) Erstellung eines optimierten Satztestes in deutscher Sprache. In: Kollmeier B. (Hrsg.) Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. 330–343, Median, Heidelberg

114. Winkler A, Holube I (2014) Was wissen wir über den Freiburger Sprachtest ?
Z Audiol 53:146–154
115. Winkler A, Holube I (2016) Test-Retest-Reliabilität des Freiburger
Einsilbertests. HNO 64:564–571
116. Zokoll M, Fidan D, Türkyılmaz D, Hochmuth S, Ergenc I, Sennaroglu G,
Kollmeier B (2015) Development and evaluation of the Turkish matrix
sentence test. Int J Audiol 54:51–61
117. [https://www.g-ba.de/downloads/62-492-1666/HilfsM-RL_2018-07-19_iK-
2018-10-03.pdf](https://www.g-ba.de/downloads/62-492-1666/HilfsM-RL_2018-07-19_iK-2018-10-03.pdf) (Tag des Zugriffs: 08.10.2018)
118. <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/koenig1.pdf> (Tag des Zugriffs:
24.07.2018)
119. Bedienungsanleitung Freiburger Sprachtest für Oldenburger
Messprogramme ab Release 1.5.3.0. Version 1.5, HörTech gGmbH,
Oldenburg.
120. [http://www.hoertech.de/images/hoertech/pdf/mp/produkte/olsa/HT.OLSA_Ha
ndbuch_Rev01.0_mitUmschlag.pdf](http://www.hoertech.de/images/hoertech/pdf/mp/produkte/olsa/HT.OLSA_Ha
ndbuch_Rev01.0_mitUmschlag.pdf) (Tag des Zugriffs: 24.07.2018)
121. [http://www.hoertech.de/images/hoertech/pdf/mp/produkte/olsa/Bedienungs
anleitung.olsa.pdf](http://www.hoertech.de/images/hoertech/pdf/mp/produkte/olsa/Bedienungs
anleitung.olsa.pdf) (Tag des Zugriffs: 24.07.2018)
122. [http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/pdf-
Ordner/QS/Freiburger-Test.pdf](http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/pdf-
Ordner/QS/Freiburger-Test.pdf) (Tag des Zugriffs: 24.07.2018)

7. Abkürzungsverzeichnis

aFBE-S	adaptiver Freiburger Einsilbertest im Störschall
APHAB	Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit
CCITT	Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique
dB	Dezibel
DDR	Deutsche Demokratische Republik
ELU	Ease of Language Understanding
FBE	Freiburger Einsilbertest
FBZ	Freiburger Zahlentest
GÖSA	Göttinger Satztest
HNO	Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
kHz	Kilohertz
L50	Sprachschallpegel bei 50 %-Sprachverstehen
min	Minuten
OLSA	Oldenburger Satztest
OLSA-S	Oldenburger Satztest im Störschall
PBmax	phonetically balanced maximum
PB-Test	phonetically balanced-Test
PC	Personal Computer
s	Sekunden
SNR	Signal-to-noise ratio, Signal-Rausch-Abstand
S/N50	Signal-Rausch-Abstand für das 50 %-Sprachverstehen
SVS	Sprachverstehensschwelle
WAKO	Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier

8. Anhänge

8.1 Erklärung der Ethik-Kommission



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK

Universität zu Lübeck · Ratzeburger Allee 160 · 23538 Lübeck

Herrn
Prof. Dr. med. Rainer Schönweiler
Sektion für Phoniatrie und Pädaudiologie

im Hause

nachrichtlich:
Frau Prof. Dr. Wollenberg
Direktorin der Klinik für HNO

Ethik-Kommission

Vorsitzender:
Herr Prof. Dr. med. Alexander Katalinic
Universität zu Lübeck
Stellv. Vorsitzender:
Herr Prof. Dr. med. Frank Gieseler
Ratzeburger Allee 160
23538 Lübeck

Sachbearbeitung: Frau Janine Erdmann
Tel.: +49 451 3101 1008
Fax: +49 451 3101 1024

ethikkommission@uni-luebeck.de

Aktenzeichen: 16-300

Datum: 08. Dezember 2016

Sitzung der Ethik-Kommission am 01. Dezember 2016

Antragsteller: Herr Prof. Schönweiler

Titel: Studie zur Ermittlung der 50%-Sprachverständlichkeitsschwelle durch den Freiburger Einsilbertest mittels adaptiver Messungen im Störschall und durch den Freiburger Zahlentest im Störschall bei normalhörenden Probanden, sowie der Vergleich der Methode mit dem Oldenburger Satztest

Sehr geehrter Herr Prof. Schönweiler,
der Antrag wurde unter berufsethischen, medizinisch-wissenschaftlichen und berufsrechtlichen Gesichtspunkten geprüft.

Die Kommission hat nach der Berücksichtigung folgender **Hinweise** keine Bedenken:
Der letzte Absatz auf S. 3 der Probandeninformation ist ganz zu streichen. Die einzige zulässige Aussage könnte sein: „Die Ethik-Kommission äußerte keine Bedenken zum Forschungsvorhaben“. Eine statistische Beratung wird dringend empfohlen, um die vorgesehenen statistischen Analyse genauer darstellen zu können (Äquivalenztest); die Null-Hypothese ist anzuführen, eine Äquivalenzschränke ist zu benennen. Eine Fallzahlplanung ist vorzunehmen, dies könnte auch auf der Basis vorliegender Literatur geschehen.

Herr Prof. Dr. Katalinic (Soz.med. u. Epidemiologie, Vorsitzender)
 Hr. Prof. Dr. Gieseler (Medizinische Klinik I, Stellv. Vorsitzender)
 Hr. PD Dr. Bausch (Chirurgie)
 Hr. Prof. Dr. Borck (Medizingeschichte u. Wissenschaftsforschung)
 Fr. Farries (Amtsgericht Eutin)
 Fr. PD Dr. Jauch-Chara (Psychiatrie)
 Hr. PD Dr. Lauten (Kinder- u. Jugendmedizin)

Frau Martini (Caritas)
 Hr. Prof. Dr. Moser (Neurologie)
 Hr. Prof. Dr. Raasch (Pharmakologie)
 Hr. Prof. Dr. Rehmann-Sutter (MGWF)

 Fr. Prof. em. Dr. Schrader (Plastische Chirurgie)
 Hr. Dr. Vonthein (Med. Biometrie u. Statistik)
 Fr. Prof. Dr. Zühlke (Humangenetik)

Bei Änderung des Studiendesigns sollte der Antrag erneut vorgelegt werden.

Über alle schwerwiegenden oder unerwarteten und unerwünschten Ereignisse, die während der Studie auftreten, ist die Kommission umgehend zu benachrichtigen.

Die Deklaration von Helsinki in der aktuellen Fassung fordert in § 35 dazu auf, jedes medizinische Forschungsvorhaben mit Menschen zu registrieren. Daher empfiehlt die Kommission grundsätzlich die Studienregistrierung in einem öffentlichen Register (z.B. unter www.drks.de).

Die ärztliche und juristische Verantwortung des Studienleiters und der an der Studie teilnehmenden Ärzte bleibt entsprechend der Beratungsfunktion der Ethikkommission durch unsere Stellungnahme unberührt.

Mit freundlichem Gruß



Prof. Dr. med. Alexander Katalinic
Vorsitzender

8.2 Probandeninstruktionen

Die Probandeninstruktionen orientierten sich an den Instruktionen, wie sie im Handbuch des Oldenburger Satztests auf Audio-CD beschrieben sind [120].

8.2.1 Instruktion zur adaptiven Messung des Freiburger Einsilbertests

Dies ist ein Hörtest, um festzustellen, wie gut Sie Sprache in geräuschvoller Umgebung verstehen können.

Hierzu werden Ihnen Listen mit Wörtern dargeboten, die von einer männlichen Stimme gesprochen werden.

Jede Liste besteht aus 20 einsilbigen Wörtern, wie z.B. Hund oder Tisch. Zusätzlich zu den Wörtern wird ein Rauschen dargeboten.

Bitte wiederholen Sie nach der Darbietung jedes Wort, welches Sie verstanden haben. Wenn Sie unsicher sind, dürfen Sie gerne auch raten.

Während der Messung wird die Lautstärke der Sprache verändert. Die Lautstärke des Rauschens bleibt jedoch immer gleich. Die Sprache kann dadurch teilweise sehr leise sein.

Es ist daher ganz normal, dass Sie manche Wörter nicht vollständig verstehen. Für die Aussagekraft der Messung ist es wichtig, diese Messung unter schwierigen Bedingungen durchzuführen.

Haben Sie noch Fragen?

8.2.2 Instruktion für den Oldenburger Satztest

Dies ist ein Test, um festzustellen, wie gut Sie Sprache in geräuschvoller Umgebung verstehen können. Hierzu werden Ihnen Sätze dargeboten, die von einer männlichen Stimme gesprochen werden. Jeder Satz besteht aus 5 Wörtern der Struktur: Name Verb Zahl Adjektiv Objekt, z.B.: Ulrich schenkt sieben schwere Sessel. Die Sätze sind nicht unbedingt sinnvoll. Zusätzlich zu den Sätzen wird ein Rauschen dargeboten.

Bitte wiederholen Sie nach der Darbietung den Satz oder jedes Wort, welches Sie verstanden haben. Wenn Sie unsicher sind, dürfen Sie gerne auch raten. Während

der Messung wird die Lautstärke der Sprache verändert. Die Lautstärke des Rauschens bleibt jedoch immer gleich. Die Sprache kann dadurch teilweise sehr leise sein. Es ist daher ganz normal, dass Sie manche Sätze nicht vollständig verstehen. Für die Aussagekraft der Messung ist es wichtig, diese Messung unter schwierigen Bedingungen durchzuführen.

Haben Sie noch Fragen?

8.3 Benötigte Funktionen in der Excel-Tabelle

Zur Bestimmung der einzustellenden Sprachpegel und zur Berechnung des S/N50 wurden folgende Funktionen in der Excel-Tabelle zur adaptiven Messung des Freiburger Einsilbertests angewendet:

```
=WENN(ISTLEER(C2);"";WENN(C2=5;-3;WENN(C2=4;-2;WENN(C2=3;-1;WENN(C2=2;1;WENN(C2=1;2;WENN(C2=0;3;999)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(C3);"";WENN(C3=5;-3;WENN(C3=4;-2;WENN(C3=3;-1;WENN(C3=2;1;WENN(C3=1;2;WENN(C3=0;3;999)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(D2);"";WENN(D2=-3;E2-3;WENN(D2=-2;E2-2;WENN(D2=-1;E2-1;WENN(D2=1;E2+1;WENN(D2=2;E2+2;WENN(D2=3;E2+3;0)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(C4);"";WENN(C4=5;-3;WENN(C4=4;-2;WENN(C4=3;-1;WENN(C4=2;1;WENN(C4=1;2;WENN(C4=0;3;999)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(D3);"";WENN(D3=-3;E3-3;WENN(D3=-2;E3-2;WENN(D3=-1;E3-1;WENN(D3=1;E3+1;WENN(D3=2;E3+2;WENN(D3=3;E3+3;0)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(C5);"";WENN(C5=5;-3;WENN(C5=4;-2;WENN(C5=3;-1;WENN(C5=2;1;WENN(C5=1;2;WENN(C5=0;3;999)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(D4);"";WENN(D4=-3;E4-3;WENN(D4=-2;E4-2;WENN(D4=-1;E4-1;WENN(D4=1;E4+1;WENN(D4=2;E4+2;WENN(D4=3;E4+3;0)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(C6);"";WENN(C6=5;-2;WENN(C6=4;-1;WENN(C6=3;0;WENN(C6=2;0;WENN(C6=1;1;WENN(C6=0;2;999)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(D5);"";WENN(D5=-3;E5-3;WENN(D5=-2;E5-2;WENN(D5=-1;E5-1;WENN(D5=1;E5+1;WENN(D5=2;E5+2;WENN(D5=3;E5+3;0)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(C7);"";WENN(C7=5;-2;WENN(C7=4;-1;WENN(C7=3;0;WENN(C7=2;0;WENN(C7=1;1;WENN(C7=0;2;999)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(D6);"";WENN(D6=-2;E6-2;WENN(D6=-1;E6-1;WENN(D6=0;E6+0;WENN(D6=1;E6+1;WENN(D6=2;E6+2;0)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(C8);"";WENN(C8=5;-2;WENN(C8=4;-1;WENN(C8=3;0;WENN(C8=2;0;WENN(C8=1;1;WENN(C8=0;2;999)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(D7);"";WENN(D7=-2;E7-2;WENN(D7=-1;E7-1;WENN(D7=0;E7+0;WENN(D7=1;E7+1;WENN(D7=2;E7+2;0)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(C9);"";WENN(C9=5;-2;WENN(C9=4;-1;WENN(C9=3;0;WENN(C9=2;0;WENN(C9=1;1;WENN(C9=0;2;999)))))))
```

```
=WENN(ISTLEER(D8);"";WENN(D8=-2;E8-2;WENN(D8=-1;E8-1;WENN(D8=0;E8+0;WENN(D8=1;E8+1;WENN(D8=2;E8+2;0)))))))
```

=WENN(ISTLEER(C10);"";WENN(C10=5;-2;WENN(C10=4;-1;WENN(C10=3;0;WENN(C10=2;0;WENN(C10=1;1;WENN(C10=0;2;999))))))))

=WENN(ISTLEER(D9);"";WENN(D9=-2;E9-2;WENN(D9=-1;E9-1;WENN(D9=0;E9+0;WENN(D9=1;E9+1;WENN(D9=2;E9+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C11);"";WENN(C11=5;-2;WENN(C11=4;-1;WENN(C11=3;0;WENN(C11=2;0;WENN(C11=1;1;WENN(C11=0;2;999))))))))

=WENN(ISTLEER(D10);"";WENN(D10=-2;E10-2;WENN(D10=-1;E10-1;WENN(D10=0;E10+0;WENN(D10=1;E10+1;WENN(D10=2;E10+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C12);"";WENN(C12=5;-2;WENN(C12=4;-1;WENN(C12=3;0;WENN(C12=2;0;WENN(C12=1;1;WENN(C12=0;2;999))))))))

=WENN(ISTLEER(D11);"";WENN(D11=-2;E11-2;WENN(D11=-1;E11-1;WENN(D11=0;E11+0;WENN(D11=1;E11+1;WENN(D11=2;E11+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C13);"";WENN(C13=5;-2;WENN(C13=4;-1;WENN(C13=3;0;WENN(C13=2;0;WENN(C13=1;1;WENN(C13=0;2;999))))))))

=WENN(ISTLEER(D12);"";WENN(D12=-2;E12-2;WENN(D12=-1;E12-1;WENN(D12=0;E12+0;WENN(D12=1;E12+1;WENN(D12=2;E12+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C14);"";WENN(C14=5;-2;WENN(C14=4;-1;WENN(C14=3;0;WENN(C14=2;0;WENN(C14=1;1;WENN(C14=0;2;999))))))))

=WENN(ISTLEER(D13);"";WENN(D13=-2;E13-2;WENN(D13=-1;E13-1;WENN(D13=0;E13+0;WENN(D13=1;E13+1;WENN(D13=2;E13+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C15);"";WENN(C15=5;-2;WENN(C15=4;-1;WENN(C15=3;0;WENN(C15=2;0;WENN(C15=1;1;WENN(C15=0;2;999))))))))

=WENN(ISTLEER(D14);"";WENN(D14=-2;E14-2;WENN(D14=-1;E14-1;WENN(D14=0;E14+0;WENN(D14=1;E14+1;WENN(D14=2;E14+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C16);"";WENN(C16=5;-2;WENN(C16=4;-1;WENN(C16=3;0;WENN(C16=2;0;WENN(C16=1;1;WENN(C16=0;2;999))))))))

=WENN(ISTLEER(D15);"";WENN(D15=-2;E15-2;WENN(D15=-1;E15-1;WENN(D15=0;E15+0;WENN(D15=1;E15+1;WENN(D15=2;E15+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C17);"";WENN(C17=5;-2;WENN(C17=4;-1;WENN(C17=3;0;WENN(C17=2;0;WENN(C17=1;1;WENN(C17=0;2;999))))))))

=WENN(ISTLEER(D16);"";WENN(D16=-2;E16-2;WENN(D16=-1;E16-1;WENN(D16=0;E16+0;WENN(D16=1;E16+1;WENN(D16=2;E16+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C18);"";WENN(C18=5;-2;WENN(C18=4;-1;WENN(C18=3;0;WENN(C18=2;0;WENN(C18=1;1;WENN(C18=0;2;999))))))))

=WENN(ISTLEER(D17);"";WENN(D17=-2;E17-2;WENN(D17=-1;E17-1;WENN(D17=0;E17+0;WENN(D17=1;E17+1;WENN(D17=2;E17+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C19);"";WENN(C19=5;-2;WENN(C19=4;-1;WENN(C19=3;0;WENN(C19=2;0;WENN(C19=1;1;WENN(C19=0;2;999)))))))

=WENN(ISTLEER(D18);"";WENN(D18=-2;E18-2;WENN(D18=-1;E18-1;WENN(D18=0;E18+0;WENN(D18=1;E18+1;WENN(D18=2;E18+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C20);"";WENN(C20=5;-2;WENN(C20=4;-1;WENN(C20=3;0;WENN(C20=2;0;WENN(C20=1;1;WENN(C20=0;2;999)))))))

=WENN(ISTLEER(D19);"";WENN(D19=-2;E19-2;WENN(D19=-1;E19-1;WENN(D19=0;E19+0;WENN(D19=1;E19+1;WENN(D19=2;E19+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C21);"";WENN(C21=5;-2;WENN(C21=4;-1;WENN(C21=3;0;WENN(C21=2;0;WENN(C21=1;1;WENN(C21=0;2;999)))))))

=WENN(ISTLEER(D20);"";WENN(D20=-2;E20-2;WENN(D20=-1;E20-1;WENN(D20=0;E20+0;WENN(D20=1;E20+1;WENN(D20=2;E20+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C22);"";WENN(C22=5;-2;WENN(C22=4;-1;WENN(C22=3;0;WENN(C22=2;0;WENN(C22=1;1;WENN(C22=0;2;999)))))))

=WENN(ISTLEER(D21);"";WENN(D21=-2;E21-2;WENN(D21=-1;E21-1;WENN(D21=0;E21+0;WENN(D21=1;E21+1;WENN(D21=2;E21+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C23);"";WENN(C23=5;-2;WENN(C23=4;-1;WENN(C23=3;0;WENN(C23=2;0;WENN(C23=1;1;WENN(C23=0;2;999)))))))

=WENN(ISTLEER(D22);"";WENN(D22=-2;E22-2;WENN(D22=-1;E22-1;WENN(D22=0;E22+0;WENN(D22=1;E22+1;WENN(D22=2;E22+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C24);"";WENN(C24=5;-2;WENN(C24=4;-1;WENN(C24=3;0;WENN(C24=2;0;WENN(C24=1;1;WENN(C24=0;2;999)))))))

=WENN(ISTLEER(D23);"";WENN(D23=-2;E23-2;WENN(D23=-1;E23-1;WENN(D23=0;E23+0;WENN(D23=1;E23+1;WENN(D23=2;E23+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C25);"";WENN(C25=5;-2;WENN(C25=4;-1;WENN(C25=3;0;WENN(C25=2;0;WENN(C25=1;1;WENN(C25=0;2;999)))))))

=WENN(ISTLEER(D24);"";WENN(D24=-2;E24-2;WENN(D24=-1;E24-1;WENN(D24=0;E24+0;WENN(D24=1;E24+1;WENN(D24=2;E24+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C26);"";WENN(C26=5;-2;WENN(C26=4;-1;WENN(C26=3;0;WENN(C26=2;0;WENN(C26=1;1;WENN(C26=0;2;999)))))))

=WENN(ISTLEER(D25);"";WENN(D25=-2;E25-2;WENN(D25=-1;E25-1;WENN(D25=0;E25+0;WENN(D25=1;E25+1;WENN(D25=2;E25+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C27);"";WENN(C27=5;-2;WENN(C27=4;-1;WENN(C27=3;0;WENN(C27=2;0;WENN(C27=1;1;WENN(C27=0;2;999)))))))

=WENN(ISTLEER(D26);"";WENN(D26=-2;E26-2;WENN(D26=-1;E26-1;WENN(D26=0;E26+0;WENN(D26=1;E26+1;WENN(D26=2;E26+2;0))))))

=WENN(ISTLEER(C28);"";WENN(C28=5;-2;WENN(C28=4;-1;WENN(C28=3;0;WENN(C28=2;0;WENN(C28=1;1;WENN(C28=0;2;999)))))))))

=WENN(ISTLEER(D27);"";WENN(D27=-2;E27-2;WENN(D27=-1;E27-1;WENN(D27=0;E27+0;WENN(D27=1;E27+1;WENN(D27=2;E27+2;0)))))))))

=WENN(ISTLEER(C29);"";WENN(C29=5;-2;WENN(C29=4;-1;WENN(C29=3;0;WENN(C29=2;0;WENN(C29=1;1;WENN(C29=0;2;999)))))))))

=WENN(ISTLEER(D28);"";WENN(D28=-2;E28-2;WENN(D28=-1;E28-1;WENN(D28=0;E28+0;WENN(D28=1;E28+1;WENN(D28=2;E28+2;0)))))))))

=WENN(ISTLEER(C30);"";WENN(C30=5;-2;WENN(C30=4;-1;WENN(C30=3;0;WENN(C30=2;0;WENN(C30=1;1;WENN(C30=0;2;999)))))))))

=WENN(ISTLEER(D29);"";WENN(D29=-2;E29-2;WENN(D29=-1;E29-1;WENN(D29=0;E29+0;WENN(D29=1;E29+1;WENN(D29=2;E29+2;0)))))))))

=WENN(ISTLEER(C31);"";WENN(C31=5;-2;WENN(C31=4;-1;WENN(C31=3;0;WENN(C31=2;0;WENN(C31=1;1;WENN(C31=0;2;999)))))))))

=WENN(ISTLEER(D30);"";WENN(D30=-2;E30-2;WENN(D30=-1;E30-1;WENN(D30=0;E30+0;WENN(D30=1;E30+1;WENN(D30=2;E30+2;0)))))))))

=WENN(ISTLEER(D31);"";WENN(D31=-2;E31-2;WENN(D31=-1;E31-1;WENN(D31=0;E31+0;WENN(D31=1;E31+1;WENN(D31=2;E31+2;0)))))))))

=SUMME(E13:E32)

=E34/20

=E36-65

9. Danksagung

Mein besonderer Dank gebührt Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Jan Löhler für die Überlassung der Arbeit und die Unterstützung in allen Phasen, von der Planung bis zur Durchführung.

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Rainer Schönweiler für die kontinuierliche Betreuung, der stetigen Möglichkeit für kurzfristige Rücksprachen und für die Bereitstellung der Räume und Geräte.

Frau Prof. Dr. med. Barbara Wollenberg als Direktorin der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, danke ich für die Möglichkeit der Durchführung der Arbeit.

Weiterhin danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Sektion für Phoniatrie und Pädaudiologie für ihre Hilfe bei technischen Schwierigkeiten während den nachmittäglichen und oftmals sogar abendlichen Messungen.

Allen Probandinnen und Probanden danke ich für die freiwillige Bereitschaft und die Geduld, auch wenn es einmal länger dauerte.

Und nicht zuletzt danke ich ganz besonders meiner Familie und meinem Freundeskreis für ihre Unterstützung.

10. Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Tobias Bastian Memmeler

Alter: 27 Jahre



Schulbildung

1998 - 2002 Badstraßenschule Calw

2002 - 2011 Hermann Hesse-Gymnasium Calw

2011 Abitur

Wehrdienst

2011 - 2012 Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz

Hochschulstudium

10 / 2012 - 11 / 2018 Studium der Humanmedizin an der Universität zu Lübeck

Zeitraum der Dissertation

12 / 2016 - 07 / 2017 Durchführung der Messungen

Publikation

12 / 2018 Memmeler T, Schönweiler R, Wollenberg B, Löhler J (2018) Die adaptive Messung des Freiburger Einsilbertests im Störschall. Entwicklung einer Messmethode und Vergleich der Ergebnisse mit dem Oldenburger Satztest. HNO. <https://doi.org/10.1007/s00106-018-0597-z>