

Aus der Klinik für Hals-, Nasen und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie
(Direktorin: Prof. Dr. P. Ambrosch)
im Universitätsklinikum Schleswig – Holstein, Campus Kiel
an der Christian – Albrechts – Universität zu Kiel

**Erhebung von audiometrischen Kenndaten für den geschlossenen Freiburger
Worttest: Diskriminationsfunktion und Reproduzierbarkeit**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
Sebastian Kapahnke
aus Regensburg
Kiel 2020

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Matthias Hey, Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Jörg Wiltfang, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

Tag der mündlichen Prüfung: 28.04.2021

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 03.03.2021

gez.: Priv.-Doz. Dr. Martin Laudien
(Vorsitzender der Prüfungskommission)

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Anatomie und Physiologie des Gehörs	1
1.2 Audiometrische Testverfahren	4
1.2.1 Objektive Testverfahren	5
1.2.1.1 Tympanometrie	5
1.2.1.2 Akustisch evozierte Potentiale (AEP)	6
1.2.2 Subjektive Testverfahren	6
1.2.2.1 Tonaudiometrie	6
1.2.2.2 Sprachaudiometrie	7
1.3 Sprachaudiometrisches Testmaterial	8
1.3.1 Logatomtest	9
1.3.2 Satztest	10
1.4 Freiburger Sprachverständlichkeitstest	10
1.5 Zielsetzung dieser Arbeit	13
2 Methoden	14
2.1 Versuchspersonen	14
2.2 Meßaufbau	14
2.3 Testdurchführung	15
2.4 Testablauf	16
2.5 Analyse	19
2.6 Korrektur der Messparameter	20
3 Ergebnisse	21
3.1 Mittleres Sprachverstehen	21
3.2 L50-Wert für die offene und geschlossene Darstellungsform	21

3.3	Steigung am L50-Wert	23
3.4	Reproduzierbarkeit: Test-Retest Abweichung	24
4	Diskussion	28
5	Zusammenfassung	34
6	Anhang	36
6.1	Danksagung	36
6.2	Veröffentlichung	36
6.3	Literaturverzeichnis	37

Abkürzungsverzeichnis

AEP	akustisch evozierte Potentiale
BERA	brainstem-evoked response audiometry
CERA	cortical Evoked Response Audiometrie
dB	Dezibel
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
FE	Freiburger Einsilbertest
Hz	Hertz
ISO	International Organization for Standardization
OLSA	Oldenburger Satztest
SNR	signal to noise ratio
SPL	sound pressure level
WHO	world health organization

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schaubild des Hör- und Gleichgewichtsorgan (entnommen aus Prometheus LernAtlas - Kopf, Hals und Neuroanatomie(5)), bearbeitet durch den Autor. _____	2
Abbildung 2: Die erste senkrechte Spalte zeigt die angebotene Vokale an z.B. Sas. Die zweite waagrechte Spalte stellt die ausgewählten Antworten dar. _____	9
Abbildung 3: Flussschema des Studienablaufs, Testtag 1 und 2. An beiden Tagen werden an jedem Probanden (n=25) die Tests Offen und Geschlossen komplett durchgeführt. _____	16
Abbildung 4: 1.Testtag, Test Offen für Proband #4 mit den jeweiligen Listennummern und den dazugehörigen Pegeln (roter Kasten). Exemplarisch: Bei 33 dB wird Liste Nr. 18 geprüft. _____	17
Abbildung 5: Matrix für den Einsilber „Ring“ (1.Wort aus der 1. Liste) zusammen mit den anderen Auswahlmöglichkeiten. Aus diesen zehn Möglichkeiten soll in Geschlossen der Begriff „Ring“ ausgewählt werden. _____	18
Abbildung 6: 1.Testtag, Test Geschlossen für Proband #4 mit den jeweiligen Listen und den dazugehörigen Pegeln (roter Kasten). _____	18
Abbildung 7: Durchgeführte Änderung der angebotenen Schalldruckpegel nach den ersten drei Probanden. _____	20
Abbildung 8: Darstellung der mittleren Sprachverständlichkeiten für beide Test Modi an beiden Testtagen (pegelspezifisch) mit Angabe der Standardabweichung. Grafische Darstellung des L50 Werts für Offen und Geschlossen (Schnittpunkte der roten Horizontalen). _____	22
Abbildung 9: Individuelle Steigungen am L50 für beide Testtage und Testmodi gesondert dargestellt. (beispielhaft: a(L50) Offen 1 steht für Steigung bei 50% Verständnis bei Test Offen an Testtag 1) _____	23
Abbildung 10: Es wurden die mittleren Sprachverständlichkeiten für beide Testmodi (Testtag 1 & 2) angetragen, die senkrechten roten Linien stellen die Differenzen von Retest zu Test dar. Darstellung des Standardfehlers für jeden gemessenen SPL, sowie der berechnete p-Wert. _____	24
Abbildung 11: Gegenüberstellung der gemessenen Verständlichkeiten für Offen an Testtag 1&2 für alle SPL. (Messpunkte liegen übereinander) _____	25
Abbildung 12: Gegenüberstellung der gemessenen Verständlichkeiten für Geschlossen an Testtag 1&2 für alle SPL. (Messpunkte liegen übereinander) _____	25
Abbildung 13: Bland-Altman Plot. Offener Testmodus. Die Differenz des Sprachverstehens (Test/Retest) ist gegenüber dem Mittelwert des Sprachverstehens (Test/Retest) angetragen. Zudem sind der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen eingetragen. (Messpunkte können überlappen) _____	26
Abbildung 14: Bland-Altman Plot. Geschlossener Testmodus. Die Differenz des Sprachverstehens (Test/Retest) ist gegenüber dem Mittelwert des Sprachverstehens (Test/Retest) angetragen. Zudem sind der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen eingetragen. (Messpunkte können überlappen) _____	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Angabe der mittleren Sprachverständlichkeit, des maximalen bzw. minimalen Testwertes und der Standardabweichung test- und pegelspezifisch. _____ 21

1 Einleitung

Ein vermindertes oder vollständig aufgehobenes Hörvermögen, ungeachtet der Ursache der zu Grunde liegenden Pathologie des Gehörs, stellt eine deutliche Einschränkung dar, die sich für Betroffene allzu oft als nicht zu unterschätzendes Problem erweist. Vor allem die soziale Interaktion mit anderen Personen, sei es privat oder beruflich, kann darunter sehr stark leiden. Nicht selten führt dies zu sozialer Isolation und Stigmatisierung des Betroffenen (1). 17% der Gesamtbevölkerung Deutschlands leiden unter Schwerhörigkeit (2). Diese wird durch die WHO in fünf Schweregrade eingeteilt, Grad 0 bis Grad 5, wobei Grad 0 keinen oder einen geringen Hörverlust und Grad 5 den völligen Verlust der Fähigkeit zu hören darstellt. Der entsprechende Grad der Einschränkung wird durch ein Reintonaudiogramm bei den Frequenzen 500, 1000, 2000 und 4000 Hertz (Hz) [1/s], für jedes Ohr gesondert, bestimmt. Hierbei ist das Ergebnis der besseren Seite ausschlaggebend (3).

Um diese Nachteile so gut wie möglich zu beseitigen werden Hörhilfen verschiedenster Art bereits seit mehreren 100 Jahren eingesetzt. Um diese richtliniengerecht verordnen zu können, bedarf es einer rechtfertigenden Indikationsstellung. Diese baut auf die Ergebnisse der durchgeführten audiometrischen Diagnostik, die sich in ton- und sprachaudiometrische Testverfahren untergliedern lässt. Des Weiteren müssen medikamentöse oder operative Behandlungsoptionen ausgeschöpft werden, bevor ein Arzt ein solch technisches Hilfsmittel verordnen darf (4).

1.1 Anatomie und Physiologie des Gehörs

Das menschliche Gehör ist sehr komplex aufgebaut. Die wesentliche Aufgabe des auditiven Sinnesorgans ist es mechanische Reize in Form von Schallwellen zu bündeln und in elektrische Reize umzuwandeln. Diese generierten Signale werden dem Gehirn zugeführt. Hier lässt sich ein peripherer von einem zentralen Teil abgrenzen.

Zum peripheren gehört dabei das äußere Ohr (Auris externa), das Mittelohr (Auris media), das Innenohr (Auris interna) und der VIII. Hirnnerv (N. vestibulochochlearis). Als zentraler Bestandteil werden alle Strukturen des zentralen Nervensystems (ZNS) verstanden, die bei der Reizweiterleitung bis hin zum bewussten Hören beteiligt sind.

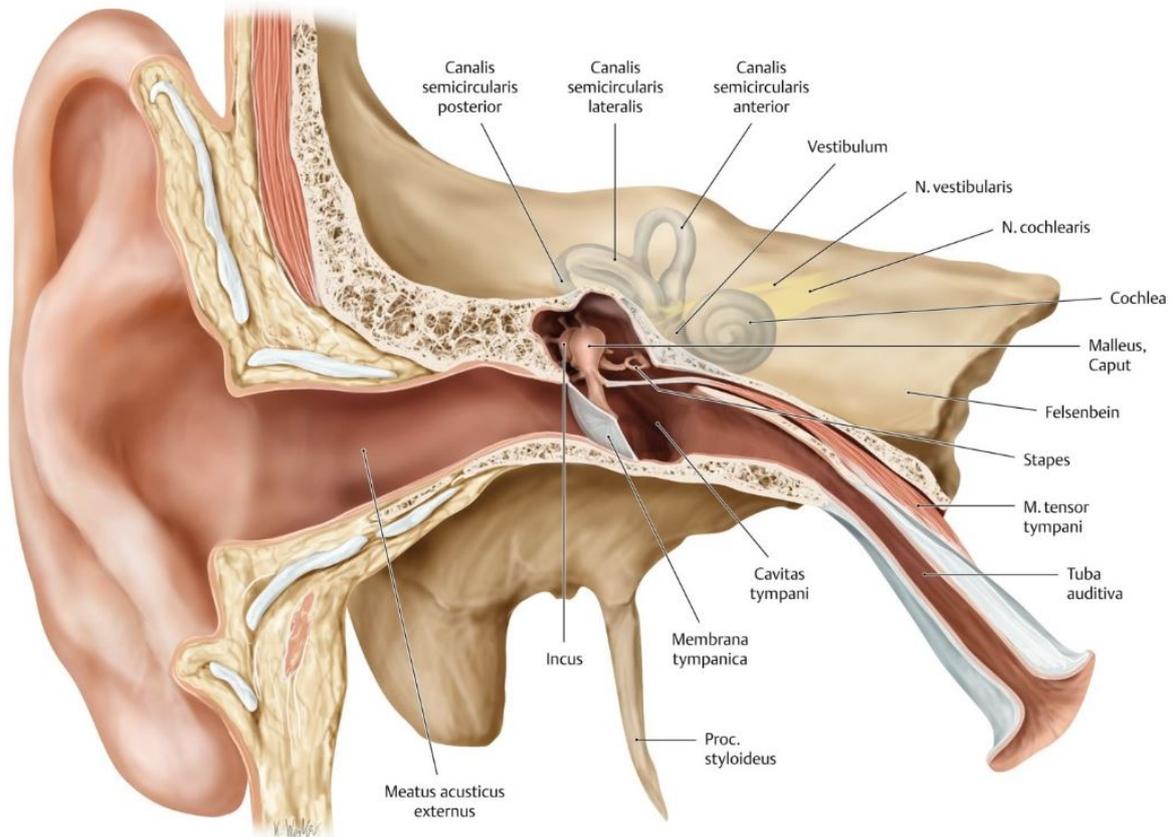


Abbildung 1: Schaubild des Hör- und Gleichgewichtsorgan (entnommen aus Prometheus LernAtlas - Kopf, Hals und Neuroanatomie(5)), bearbeitet durch den Autor.

Das äußere Ohr (Auris externa) setzt sich aus der Ohrmuschel (Auricula auris) und dem äußeren Gehörgang (Meatus acusticus externus) zusammen. Die Ohrmuschel fungiert hier wie ein Trichter, der Schallwellen gerichtet in den äußeren Gehörgang weiterleitet. Zudem hilft er dem Menschen beim Richtungshören. Durch den Gehörgang wiederum gelangen die Schallwellen zum Mittelohr.

Dieses setzt sich zusammen aus dem Trommelfell (Membrana tympanis), der Ohrtrompete (Tuba auditiva), dem pneumatisierten Warzenfortsatz (Processus mastoideus) und der Paukenhöhle (Cavum tympani).

In dieser befinden sich die Gehörknöchelchen (Malleus, Incus und Stapes), der Musculus tensor tympani und der Musculus stapedius. Ankommende Schallwellen werden durch das Trommelfell, einer feinen Membran, auf die Gehörknöchelchen übertragen.

Dieser Übertragungsapparat dient als Impedanzwandler. Er adaptiert die Impedanz der Luft an die des mit Flüssigkeit gefüllten Innenohrs. Zudem stellt dieser gleichzeitig einen Schutzmechanismus bei zu lauten Reizen dar, wie z.B. einer Explosion oder einem lauten Knall. Die beiden o.g. Muskeln schützen das Gehör wie folgt: Der eine, indem er das Trommelfell spannt und der andere durch das Kippen des Steigbügels. Beides hat zur Folge, dass die Übertragung der Schallwellen gemindert wird. Diese Mechanismen schützen das Gehör vor sehr lauten Phänomenen. Durch den Steigbügel und das ovale Fenster (Foramen ovale) werden die Trommelfellschwingungen auf das Innenohr übertragen, welches sich im Felsenbein (Pars petrosa ossis temporalis) befindet. Man unterscheidet zwischen einem knöchernen und einem häutigen Labyrinth, wobei das häutige vom knöchernen schützend umgeben wird. Dieser Zwischenraum, Scala tympani und vestibuli, wird von Perilymphe ausgefüllt, wohingegen das häutige Labyrinth Endolymphe enthält. Dieses Schlauchsystem setzt sich aus dem vestibulären (Gleichgewichtsorgan) und dem cochleären Labyrinth (Hörsinnesorgan) zusammen. Die knöcherne Cochlea, die sog. Hörschnecke, hat zweieinhalb spiralförmige Windungen und bildet im Helicotrema ihre Spitze. Ihr Lumen ist durch die Reissnermembran und die Basilarmembran in drei Etagen eingeteilt. In der mittleren (Scala media) befindet sich der mit Endolymphe gefüllte Ductus cochlearis. Oberhalb ist die Scala tympani, unterhalb die Scala vestibuli. Die Scala vestibuli öffnet sich in den Vorhof, wohingegen die Scala tympani im runden Fenster (Foramen rotundum) an der medialen Paukenhöhlenwand endet. Diese beiden mit Perilymphe gefüllten Gänge kommunizieren im Helicotrema miteinander. Im Ductus cochlearis befindet sich das Corti Organ. Dieses enthält die Sinneszellen (innere und äußere Haarzellen), welche von der Tectorialmembran bedeckt werden.

Durch den Steigbügel auf das ovale Fenster übertragene Schwingungen lösen in der Scala vestibuli Wanderwellen aus. Diese kommen zustande, indem die Flüssigkeitssäule im Labyrinth in Bewegung versetzt wird. Diese wandern vom ovalen Fenster über die Scala vestibuli zum Helicotrema und von dort aus über die Scala

tympani zum runden Fenster. Diese Wanderwellen buchten die Basilarmembran aus. Wellen mit hoher Frequenz verformen diese am Anfang der Schnecke, diejenigen mit geringer Frequenz eher an der Spitze der Cochlea. Dies liegt daran, dass die Steifigkeit der Membran um den Faktor 10^4 zum Helicotrema abnimmt. Wird nun die Basilarmembran an einem frequenzspezifischen Ort ausgelenkt, hat dies eine Abscherbewegung der Tectorialmembran zufolge. Konsekutiv werden durch diesen Mechanismus die Haarzellen des Corti Organs abgeknickt und Aktionspotentiale generiert.

Der zentrale Teil des Gehörs beinhaltet alle Strukturen des ZNS, die am „Hörvorgang“ beteiligt sind. Es lässt sich funktionell in einen afferenten (Informationsfluss zum Gehirn) und efferenten (Informationsfluss weg vom Hirn) Teil gliedern.

Vereinfacht dargestellt verläuft der im Cortiorgan generierte elektrische Reiz über vier Neuronen zum primären auditorischen Kortex und zur sekundären Hörrinde. Auf diesem Weg tritt er mit dem N. vestibulochochlearis im Kleinhirnbrückenwinkel in den Hirnstamm ein und passiert dort den ventralen und dorsalen Cochleariskern, den Colliculus inferior (Mittelhirndach), die kleine Olive (Hirnstamm) und das Corpus geniculatum mediale (Thalamus). Von dort zieht die Radiatio acustica (Hörstrahlung) zum primären auditorischen Kortex im Temporallappen (Heschl Windungen) und zur sekundären Hörrinde. Auf diesem Weg bestehen viele Verschaltungen sowohl zur ipsilateralen als auch zur kontralateralen Seite.

Der efferente Teil zieht von der kleinen Olive zu den äußeren Haarzellen und zu den Afferenzen der inneren Haarzellen. Aufgabe dieser Schaltkreise ist die Anpassung des peripheren Gehörs an die aktuelle Hörsituation (6)(7).

1.2 Audiometrische Testverfahren

Das Ziel der Audiologie ist es das Gehör für jeden Patienten individuell und objektiv zu bewerten. Mit den so erhobenen Befunden kann man nicht nur eine vorhandene Pathologie beschreiben, sondern sie lässt auch Rückschlüsse auf den Ort der Schädigung zu. Zusätzlich sollten die erhobenen Befunde durch eine otologische

Untersuchung ergänzt werden. Die funktionelle Diagnostik lässt sich in zwei große Gruppen unterteilen: Subjektive und objektive Messverfahren.

Bei allen subjektiven Tests muss der zu Untersuchende Reize wahrnehmen, verarbeiten und auf diese adäquat reagieren können, um ein repräsentatives und valides Ergebnis zu erzielen. Diese Art der Untersuchung setzt somit die Bereitschaft zur Zusammenarbeit des Patienten voraus. Beispielhaft sind hier die Tonaudiometrie oder der Freiburger Einsilbertest (FE). Bei den objektiven Testverfahren werden akustische, mechanische oder elektrische Reaktionen auf gezielt gesetzte Reize registriert und zusammen mit der Funktion des untersuchten Ohres betrachtet.

Die Tympanometrie oder akustisch evozierte Potentiale (AEP's) gehören zu diesem Feld (8)(9).

1.2.1 Objektive Testverfahren

1.2.1.1 Tympanometrie

Die Tympanometrie ist im klinischen Alltag eine häufig verwendete impedanzaudiometrische Untersuchung, um schnell und zuverlässig einen Eindruck über das Mittelohr und die Beweglichkeit des Gehörknöchelapparates zu bekommen. Diese ist z.B. bei Otosklerose (10) oder bei entzündlichen Prozessen, die sich im Mittelohr abspielen, deutlich gemindert. Bei der Untersuchung wird in den äußeren Gehörgang eine spezielle Messsonde eingeführt, die diesen abdichtet. So kann nun der Druck, der zwischen Sonde und Mittelohr herrscht, manipuliert werden. In der platzierten Sonde befindet sich sowohl ein Lautsprecher als auch ein Mikrofon. Vollautomatisch werden Signale mit definierter Frequenz und Schalldruckpegel (*eng.: sound pressure level* (SPL)) emittiert. Die vom Trommelfell reflektierten Schallwellen werden gemessen und geben Rückschlüsse auf die Impedanz des Systems „Mittelohr“. Wenn die Impedanz hoch ist, werden nur wenig Schallwellen absorbiert, aber viele reflektiert. Zusätzlich wird die Impedanz durch den im Mittelohr vorherrschenden Druck beeinflusst. Um diesen indirekt bestimmen zu können, wird der Druck im äußeren Gehörgang während der Messung verändert (z.B. -300 bis +300 Pascal [$1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$]). Die so ermittelten Messdaten werden im Tympanogramm graphisch dargestellt (11).

1.2.1.2 Akustisch evozierte Potentiale (AEP)

Das Grundprinzip des Tests besteht darin, dass dem Untersuchenden gezielt ein definierter akustischer Reiz zugeführt wird und die verschiedenen Stationen der Reizverarbeitung (teilweise im peripheren, aber vor allem im zentralen Anteil des Hörsystems) detektiert werden. So können alle Strukturen von den Haarzellen bis zum auditiven Cortex abgebildet werden.

Die primäre Messgröße stellt die Potentialdifferenz dar, die zwischen zwei unterschiedlich platzierten Messelektroden registriert werden kann und mit Hilfe eines EEG (Elektroenzephalografie) abgebildet wird. Eine weitere wichtige Messgröße ist die verstreichende Zeit zwischen dem Zeitpunkt des akustischen Reizes und der erfassten Potentialdifferenz. Dieser Latenzzeit lassen sich die verschiedenen anatomischen Strukturen zuordnen. So ist z.B. für Potentiale des auditiven Cortex eine Zeitspanne zwischen Reiz und gemessenen Spannungsdifferenzen eine Latenz von 50-500ms typisch (CERA) (12)(13).

Bei Neugeborenen kann durch eine Hirnstammaudiometrie (BERA) festgestellt werden, ob eine Einschränkung des Hörsystems vorliegt. Frühzeitig kann dann eine adäquate Therapie eingeleitet werden, um dem Patienten eine normale Sprachentwicklung gewährleisten zu können (14). Nicht nur in der audiologischen Diagnostik kommt oben beschriebene Untersuchung zum Einsatz. Weitere Anwendungsgebiete finden sich beispielhaft in der Neurochirurgie oder Neurologie. So können erhobenen AEP's bei Patienten, die unter einem Verschluss der Arteria basilaris leiden, als prognostischer Parameter der Genesung gewertet werden (15).

1.2.2 Subjektive Testverfahren

1.2.2.1 Tonaudiometrie

Ziel ist es die frequenzspezifischen Hör- und Unbehaglichkeitsschwellen des Patienten zu bestimmen. Durch den Vergleich der Ergebnisse bei Luft- und Knochenleitung können Rückschlüsse auf den Ort der Schädigung gezogen werden (16). Bei der Tonaudiometrie wird dem Patienten ein definiertes Signal bei einer bestimmten Frequenz (in Hz) und einem definierten SPL (in dB) mit einem Ohrkopfhörer oder

einem Knochenleitungshörer seitengetreunt angeboten. Entscheidende Faktoren, die das Ergebnis wesentlich beeinflussen sind die Fähigkeit zu hören, sowie die Konzentration und Aufmerksamkeit des Prüflings. Natürlich muss hier gesagt werden, dass ein Ergebnis, welches die tatsächliche Leistung des Gehörs widerspiegelt, nur erzielt werden kann, wenn der Prüfling konzentriert und aufmerksam ist. Somit wird das subjektive Hörvermögen für Töne des linken bzw. rechten Ohres geprüft. Bei jeder zu prüfender Frequenz wird der Schalldruckpegel des Tones bzw. Rauschens solange gesteigert (meist in 5 dB Schritten), bis der Patient durch ein Signal (z.B. Knopfdruck) bemerkbar macht, dass der angelegte Pegel für ihn hörbar war. Somit wird für eine Frequenz die Hörschwelle in dB bestimmt. Dieses Schema wird analog bei allen zu untersuchenden Frequenzen (250Hz, 500Hz, 750Hz, 1000Hz, 1500Hz, 2000Hz, 3000Hz, 4000Hz, 6000Hz, 8000Hz) durchgeführt. Die so ermittelten Punkte werden in eine Grafik eingetragen. Mithilfe der Tonaudiometrie lässt sich gezielt die Schalleitung/Knochenleitung des Gehörs untersuchen (17).

1.2.2.2 Sprachaudiometrie

Mithilfe der Sprachaudiometrie wird das auditive Sprachverstehen gemessen (18). Hierbei wird das Verständnis von Sprache in Relation zum angebotenen SPL untersucht. Analog zur Tonaudiometrie ist die Qualität des Testresultates abhängig von der Bereitschaft des Probanden an der Untersuchung adäquat teilzunehmen und der Güte seines Gehörs. Zusätzlich haben andere Faktoren wie z.B. die Muttersprache, das bekannte Vokabular oder die Fähigkeit zu assoziieren einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Ergebnis (19). Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass dem Patienten eine Gruppe von Items über Kopfhörer oder Lautsprecher angeboten werden.

Optional kann zeitgleich ein Störsignal eingespielt werden. Dieses Manöver soll eine möglichst alltagsgetreue Situation simulieren, in der Umgebungsgeräusche zu hören sind („Cocktail-Party-Effekt“). Der Proband sagt nach jedem Item dem Untersucher das Verstandene, ob es richtig oder falsch war, wird vom Untersucher notiert. Dies wird bei verschiedenen SPL's wiederholt. Man erhält verschiedene Wertpaare, die sich wie folgt zusammensetzen.

Die Ordinate stellt in Prozent die korrekt wiederholten Items dar, die Abszisse präsentiert den angelegten SPL. Ziel ist es, mit den gewonnenen Messpunkten, die individuelle Diskriminationsfunktion beschreiben zu können. Diese beschreibt das Sprachverständnis (in %) als Funktion des angelegten SPL (in dB). Durch diese wird unter anderem die Steigung der Funktion, die Verständlichkeitsschwelle/ L50-Wert (an diesem Punkt versteht der Patient genau 50% der angebotenen Items bei zugehörigem Pegel) und der Diskriminationsverlust beschrieben. Der Diskriminationsverlust berechnet sich folgendermaßen:

„100% - „bestes Verständnis [in %]“.

Bei der Sprachaudiometrie im Störschall ist die Sprachverständlichkeitsschwelle von besonderem Interesse. An diesem werden bei entsprechenden signal to noise ratio (SNR) 50 % der Items korrekt verstanden.

Der SNR gibt an, in welchem Verhältnis der Sprachpegel zum Störschalldruckpegel steht (z.B. Sprachpegel 50dB und Störpegel 55dB) (20).

1.3 Sprachaudiometrisches Testmaterial

Bei der großen Anzahl von verschiedenen sprachaudiometrischen Tests ist es sinnvoll diese in verschiedene Gruppen einzuordnen. So ist eine mögliche Gruppierung des Testmaterials für den Untersuchenden möglich:

Logatom, Einsilber, Zweisilber, Zahlen / Mehrsilber, Sätze.

Die hier angeführten Testverfahren reichen von sinnfreien Silben, bis hin zu komplexen Sätzen. Letzteres, welches zumeist im Störschall präsentiert wird, überprüft am besten die alltägliche Anforderung, die das Gehör in der Interaktion mit der Umwelt meistern muss (21). Im Folgenden werden exemplarisch einzelne sprachaudiometrische Testverfahren vorgestellt.

1.3.1 Logatomtest

Das Ziel des Logatomtests ist es, die Verständlichkeit von Konsonanten und Vokalen beim zu Untersuchenden aufzuzeigen. Hier werden dem Patientin Logatome (sinnfreie Silben) z.B. Sas, Ses, Sis, Sos, Sub präsentiert. Die Versuchsperson wählt nach jedem angebotenen Logatom das ihm zutreffend erscheinende aus einer Gruppe von fest vorgegebenen Antwortmöglichkeiten aus oder spricht es nach. Das Ziel dieser Art von Test ist es nicht, wie oben beschrieben, einen L50-Wert oder einen Diskriminationsverlust zu bestimmen. Primäres Ziel ist es eine Verwechslungsmatrix anlegen zu können. Diese gliedert sich wie folgt (22).

Testvokal	Antwort				
	„a“	„e“	„i“	„o“	„u“
„a“	8				
„e“		3	5		
„i“		4	4		
„o“				7	1
„u“					8

Abbildung 2: Die erste senkrechte Spalte zeigt die angebotene Vokale an z.B. Sas. Die zweite waagrechte Spalte stellt die ausgewählten Antworten dar.

Bei dieser erhobenen Verwechslungsmatrix wurde jeder Vokal achtmal angeboten. Der Proband erkannte „a“ stets richtig. Bei den Vokalen „e“ und „i“, als auch bei „o“ und „u“ traten Verwechslungen auf. So kann mithilfe eines Logatomtest nicht nur das korrekte Erkennen von Vokalen und Konsonanten überprüft werden. Durch den Kieler-Logatomtest können bei Patienten, die mit einem Cochlearimplantat versorgt wurden, systematische Verwechslungen aufgezeigt werden. Unter Verwendung dieser Erkenntnissen lassen sich Hinweise auf Probleme in der Zuordnung der Frequenzbänder zu den Elektroden detektieren, aber auch Informationen für die logopädische Weiterbehandlung gewinnen (23).

1.3.2 Satztest

Der Oldenburger Satztest (OLSA) wurde in Anlehnung an den Matrix-Satztest in schwedischer Sprache von Hagermann entwickelt (24). Ebenso wie dieser soll der Oldenburger Satztest die Sprachverständlichkeit im Störschall bestimmen. Bei gleichbleibendem Pegel des Störsignals wird die SNR verändert und somit die Sprachverständlichkeitsschwelle (L50-Wert) im Störschall ermittelt. Es wurde versucht einen Test zu konzipieren, der folgende Eigenschaften aufweist: Vorhandensein einer steilen Diskriminationsfunktion, hohe Anzahl an Testlisten und gebräuchliche Umgangssprache (25). Beim OLSA werden Sätze, aus fünf Worten bestehend, angeboten. Jedes richtig verstandene Wort wird notiert.

Die Satzstruktur ist immer gleich: Vorname, Verb, Zahlwort, Adjektiv, Objekt. Jede oben genannte Wortgruppe enthält zehn verschiedene Items (26).

Es wurde darauf geachtet, dass die zufällig generierten Sätze eine Phonemverteilung aufweisen, die der Verteilung der deutschen Sprache ähnlich ist. So lassen sich 10^5 unterschiedliche Sätze bilden. Analog dazu lassen sich 10^4 Testlisten á zehn Sätze bilden. Durch diese Randomisierung entstehen auch sinnfreie Sätze, doch diese geringe Sinnhaftigkeit bietet gewisse Vorteile. Die geringe Redundanz der Testsätze hat zur Folge, dass diese nur schwer einprägsam sind und somit auch nach wiederholten Testungen das Ergebnis nicht durch einen repetitiven Lerneffekt (siehe 1.4) verfälscht wird (27).

1.4 Freiburger Sprachverständlichkeitstest

K. H. Hahlbrock, der als Begründer der deutschsprachigen Sprachaudiometrie gilt, stellte 1953 den von ihm entwickelten Freiburger Sprachverständlichkeitstest vor (28). Er besteht aus einem Zahlen- und einem Einsilbertest. Es werden zehn Listen mit jeweils zweistelligen Zahlen (Mehrsilber) und 20 Listen á 20 Substantiven (Einsilber) geprüft. Hahlbrock gelang es durch die Entwicklung dieses Tests erstmalig systematisch die Einschränkung des Gehörs mit Sprache darzustellen. Mehr als 60 Jahre nach Veröffentlichung wird der Freiburger Einsilbertest (FE) immer noch

standardmäßig in audiologischen Einrichtungen in der täglichen Praxis genutzt, um die Sprachverständlichkeit zu bestimmen. Zusätzlich ist er ein obligater Bestandteil der aktuellen Hilfsmittelrichtlinien für die Indikationsstellung und Überprüfung des Versorgungserfolges von Hörmittelhilfen (29). Der FE ist ein nach dem Deutschen Institut für Normung (DIN) 45621-1 standardisierter und normierter Sprachverständnistest (30).

Es werden einem Patienten Wortlisten á 20 einsilbigen Worten entweder über Lautsprecher oder Kopfhörer mit einer bestimmten Lautstärke angeboten. Die Wortlisten sind nach DIN 45621-1 (1995a) und DIN 45626-1 (1995b) standardisiert (31). Das Testmaterial wurde 1969 in den Studios des NDR mit dem Sprecher Claus Wunderlich aufgenommen. In der heutigen Praxis wird eine digitalisierte Version (CD) dieser Aufnahmen verwendet.

Hier weist jede Testliste eine starre Abfolge der Testitems auf. Die Listen werden dem Patienten bei Testung mit CD in dieser festen Reihenfolge, also nicht randomisiert, vorgespielt. Diese sollen dann vom Getesteten möglichst korrekt wiedergegeben werden. Hier hat man zwei grundlegend unterschiedliche Möglichkeiten die Verständlichkeit des Einsilbers zu prüfen. Der Test lässt sich in einer offenen oder geschlossenen Darbietungsform durchführen, wobei nur die offene Form Teil der Norm DIN 45621-1 ist.

Bei Verwendung eines offenen Systems hört der Patient einen Einsilber und soll diesen frei nachsprechen. Das geschlossene System wird angewandt, indem der Patient das vorgespielte Wort aus einer Gruppe von ähnlichen Items und dem präsentierten Item, welche auf einem Bildschirm angezeigt werden, auswählen soll. Jede Wortliste wird bei einer vorgegebenen Lautstärke angeboten. Wenn der Patient alle 20 Worte einer Liste bei einer bestimmten Lautstärke korrekt wiedergegeben konnte, hat er bei dieser Liste 100% erreicht.

Einer der zu ermittelnde Werte ist, wie oben erwähnt, jener, bei dem der Proband genau 10 Worte einer Liste, also 50% versteht. Dieser wird auch der L50-Wert genannt. Dieser wird von Kompis bei Normalhörenden in der offenen Darbietungsform mit einem Schalldruckpegel von 32dB angegeben. Hier verstehen diese im Mittel 50% der angebotenen Einsilber einer Wortliste (32).

In der geläufigen Literatur variiert der L50-Wert. So wird der Median der Verständlichkeit bei Winkler und Holube bei 29.3 dB angeführt (33).

Diese Unterschiede sind darauf zurückzuführen, dass der o.g. Wert mit verschiedenen Probandenkollektiven ermittelt wurde.

Jedoch weist der FE besonders bei Patienten, welche sich sehr oft Verständlichkeitstests unterziehen müssen, Mängel auf, von denen manche im Folgenden exemplarisch vorgestellt werden. Die begrenzte Anzahl von sinnvollen Einsilbern beschränkt das mögliche Testmaterial grundsätzlich (34).

Zudem beschrieb Alich, dass ein Zusammenhang zwischen Bekanntheitsgrad und der Verständlichkeit der Worte besteht. Je geläufiger das getestete Item ist, desto leichter versteht dieses der Proband (35). Somit können gängige Einsilber zu einem falsch besseren Ergebnis führen, als es der Wirklichkeit entspricht. Des Weiteren weisen die Testlisten des FE unterschiedliche Schwierigkeitsgrade auf. Baljić zeigte, dass die Listen 5, 11, 12 und 15 nicht das Kriterium der perzeptiven Äquivalenz erfüllen (36). Dies bedeutet, dass eine getestete Liste bei einer erneuten Prüfung, unter ähnlichen Bedingungen, kein ähnliches Sprachverstehen erzielt.

Außerdem kommt hinzu, dass die Worte pro Liste bei Darbietung von CD immer in der gleichen Reihenfolge präsentiert werden. Somit kommt es bei der Anwendung des FE sowohl zu einem prozeduralen als auch einem repetitiven Lerneffekt.

Der prozedurale Lerneffekt tritt während der ersten Messungen auf. Hierbei erlernt der Patient den Testablauf und kann somit nach einigen geprüften Listen ein besseres Ergebnis erreichen, im Vergleich zu jenen der ersten Durchgänge. Dieser Effekt wurde unter anderem von Schmidt nachgewiesen (37). Der repetitive Lerneffekt entwickelt sich bei häufiger Testung. Der Proband merkt sich unterbewusst die Einsilber der geprüften Listen. Somit kann der Patient nach einer ausreichend großen Anzahl von Testungen ein besseres Testergebnis erreichen, als es ihm physiologisch möglich wäre (38).

1.5 Zielsetzung dieser Arbeit

Um gewonnene Messergebnisse eines Patienten konsistent auswerten zu können, benötigt man Referenzwerte. Hierfür nutzt man eine Bezugskurve des Sprachverstehens. Diese muss laut DIN EN ISO 8253-3 mit mindestens 25 otologisch normalhörenden Personen ermittelt werden (39). Mithilfe der so gewonnenen Messergebnisse lässt sich eine Grafik erstellen, die in Abhängigkeit des angebotenen Pegels die mittlere Verständlichkeit in Prozent wiedergibt. So kann z.B. die Lautstärke bestimmt werden, bei der das Probandenkollektiv 50% der Worte richtig wiedergeben konnte. Zudem ist es wichtig, dass bei ein und demselben Probanden bei zwei voneinander unabhängigen Messungen zweimal ein möglichst vergleichbares Testergebnis erzielt wird. Hierzu werden der Test und Re-Test in Relation zueinander gestellt. Ziel dieser Studie ist daher:

- die Bestimmung der Bezugskurve des Sprachverstehens für die geschlossene Präsentation der FE im Vergleich zur offenen Darbietungsform.
- die Untersuchung der Messergebnisse auf ihre Reproduzierbarkeit.

2 Methoden

2.1 Versuchspersonen

Insgesamt nahmen an dieser Studie 25 volljährige Personen (12 Frauen, 13 Männer) als Probanden teil. Die Muttersprache war Deutsch. Das Durchschnittsalter betrug 24,3 Jahre (21J.-26J.). Die Spannweite des Alters der Studienteilnehmer betrug 1 Jahr bei einem 0,25-Quantil von 24 Jahren und einem 0,75-Quantil von 25 Jahren. Jedem Teilnehmer wurden 20€ Aufwandsentschädigung ausgezahlt.

Die Hörschwellenpegel der Kandidaten wurden bei 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz und 8000 Hz durch ein Reinton-Audiogramm untersucht. Hierbei musste der Hörschwellenpegel bei 10dB oder darunter liegen. In höchstens zwei der untersuchten Frequenzen durften Ergebnisse bis 15dB erreicht werden, um nach den DIN EN ISO 8253-3 Kriterien als normalhörend zu gelten. Alle Teilnehmer erfüllten diese Anforderung.

Es wurden keine Hörhilfen (CI, Hörgerät o.ä.) benutzt. Die Tympanogramme zeigten bei allen Probanden keine Pathologien des Mittelohrs.

2.2 Meßaufbau

Den Probanden wurden die Worte des Freiburger Einsilbertests im Freifeld bei Präsentation über einen Lautsprecher der Marke BEHRINGER® TRUTH MODEL B2031P frontal vorgespielt.

Es wurde das computergesteuerte Zweikanal Audiometer Equinox^{2.0} der Firma Interacoustics® eingesetzt. Um die audiologischen Messdaten computergestützt zu erfassen und zu verwalten, kam das Programm evidENT3 (Merz Medizintechnik GmbH) zum Einsatz. Alle Messungen erfolgten in einer akustisch geschirmten Meßkabine der Klinik für Hals-, Nasen-, und Ohrenheilkunde des UKSH Kiel.

2.3 Testdurchführung

Genutzt wurde der nach DIN 45621-1 normierte FE. Der Test fand in Ruhe statt. Verwendet wurden hier 20 verschiedene Wortlisten á 20 Einsilbern. Diese wurden von einer männlichen Stimme nach DIN 45621-1 (1995a) und DIN 45626-1 (1995b) auf einen Tonträger gesprochen. Dem Studienteilnehmer wurden die Einsilber, listenbezogen randomisiert, im Freifeld über einen Lautsprecher frontal und binaural vorgespielt. Die gehörten Worte sollte er dann, wenn möglich, korrekt wiedergeben. Die Studie sah pro Teilnehmer jeweils zwei Testtage vor, welche in einem Zeitraum von 14-21 Tagen stattfinden sollten.

Der Proband absolvierte der Reihe nach die Tests Offen und Geschlossen pro Testtag. Bei dem ersten Test wurde mit der offenen Darbietungsform, bei dem zweiten Test mit der geschlossenen Form geprüft. Bei Offen und Geschlossen wurden jeweils acht und 12 Listen dargeboten.

Somit hörte man pro Testtag alle 20 Testlisten des FE. Die zu messenden Schalldruckpegel wurden im Vorfeld der Studie durch Pilotmessungen bei Normalhörenden so festgesetzt, dass ein möglichst breiter Bereich der Verständlichkeit erreicht werden konnte. Der Testmodus wurde hierbei berücksichtigt. Mit welchen Pegeln die Listen bei Test Offen und Geschlossen angeboten wurden, wird in 2.4 detailliert geschildert.

2.4 Testablauf

Zur Veranschaulichung des Prozedere wird der komplette Studienablauf von Proband #4 exemplarisch dargestellt.

Eingangs wurde bei Studienteilnehmer #4 eine Kontrolle der Normalhörigkeit mittels einer Tonaudiometrie durchgeführt. Hier musste er die Kriterien, welche bei „Versuchspersonen“ aufgeführt sind, erfüllen. Ein negatives Ergebnis bedeutete den sofortigen Ausschluss. Im Anschluss wurde noch ein Tympanogramm angefertigt. Nach Abschluss dieser Untersuchungen folgten die Tests Offen und Geschlossen in dieser Reihenfolge.

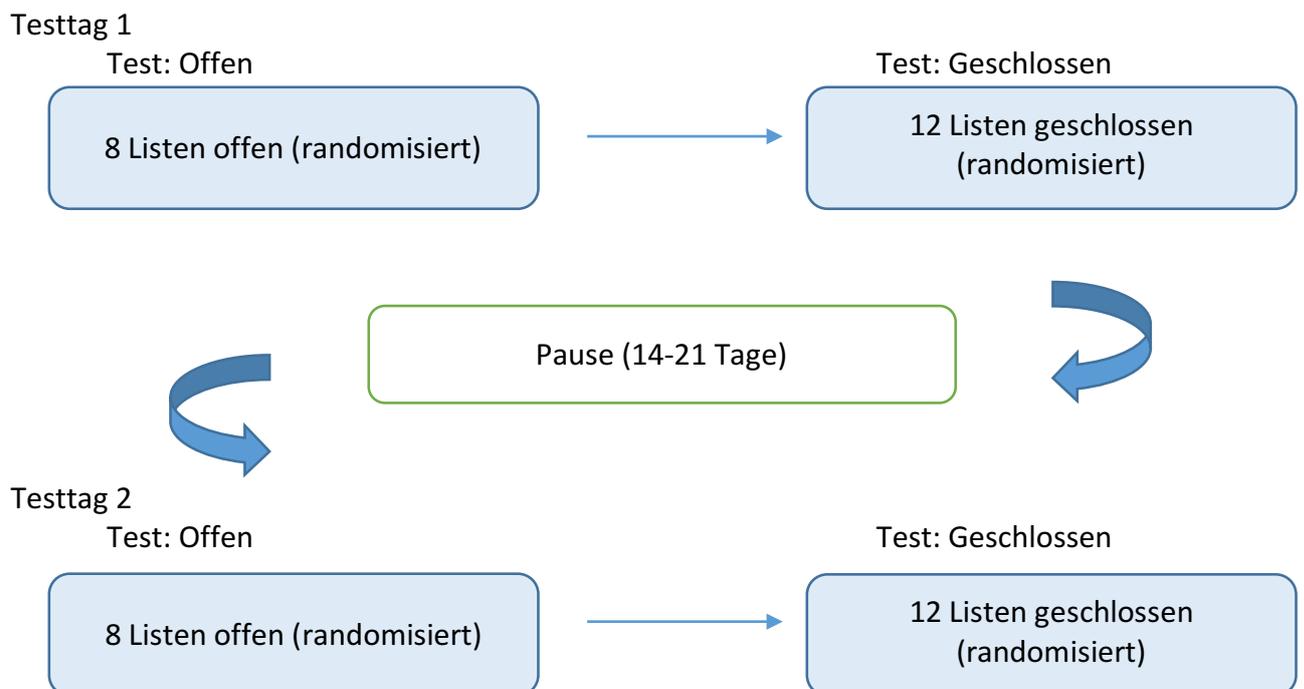


Abbildung 3: Flussschema des Studienablaufs, Testtag 1 und 2. An beiden Tagen werden an jedem Probanden (n=25) die Tests Offen und Geschlossen komplett durchgeführt.

1) Offen:

Zuerst wurde Test Offen durchgeführt. Hierbei wurden insgesamt acht Listen, in randomisierter Form, bei den Pegeln 19, 23, 27 und 33 dB dargeboten.

	Pegel (dB SPL)	#4
Offen	33	18
	33	19
	27	20
	27	1
	23	2
	23	3
	19	4
	19	5
Geschlossen	26	6
	20	7
	12	8
	16	9
	16	10
	20	11
	12	12
	26	13
	12	14
	26	15
	16	16
20	17	

Abbildung 4: 1. Testtag, Test Offen für Proband #4 mit den jeweiligen Listennummern und den dazugehörigen Pegeln (roter Kasten). Exemplarisch: Bei 33 dB wird Liste Nr. 18 geprüft.

Proband #4 wurden nun acht Listen zu je 20 Einsilbern, bei dem jeweiligen Pegel (in dB SPL gemessen) über einen Lautsprecher frontal im Freifeld angeboten. Wenn möglich, sollte er diese laut und deutlich nachsprechen. Falls das Wort korrekt wiedergegeben werden konnte, gab der Untersucher dieses Wort als „verstanden“ ein.

2) Geschlossen:

Als letzter Test wurde Geschlossen durchgeführt. Hier wurden dem Studienteilnehmer, wie bei dem vorangegangenen Test die Wörter, der jeweiligen Liste ebenfalls über einen Lautsprecher frontal im Freifeld angeboten.

Jedoch wurde hier nicht in einem offenen System, wie bei Offen, sondern in einem geschlossenen System geprüft. Das bedeutet, dass dem Probanden für jedes vorgeschene Wort auf einem Bildschirm zusätzlich zu der korrekten Antwort acht ähnliche Einsilber und die Option „Nicht Verstanden“ angeboten wurden.

Aus diesen insgesamt zehn zur Auswahl gestellten Möglichkeiten musste die korrekte ausgewählt werden.

String	Ring	Rist
Rind	Rand	Link
Kind	Rund	Ding
Nicht Verstanden		

Abbildung 5: Matrix für den Einsilber „Ring“ (1. Wort aus der 1. Liste) zusammen mit den anderen Auswahlmöglichkeiten. Aus diesen zehn Möglichkeiten soll in Geschlossen der Begriff „Ring“ ausgewählt werden.

Jeder Teilnehmer hörte bei den Pegeln 12, 16, 20 und 26 dB 12 Listen, deren Items innerhalb der Liste randomisiert wurden. Anhand Proband #4 wird dies veranschaulicht. Diesem wurden die folgenden Listen mit ihrer jeweiligen Lautstärke angeboten.

	Pegel (dB SPL)	#4
Offen	33	18
	33	19
	27	20
	27	1
	23	2
	23	3
	19	4
	19	5
Geschlossen	26	6
	20	7
	12	8
	16	9
	16	10
	20	11
	12	12
	26	13
	12	14
	26	15
	16	16
	20	17

Abbildung 6: 1. Testtag, Test Geschlossen für Proband #4 mit den jeweiligen Listen und den dazugehörigen Pegeln. (roter Kasten)

Die korrekt ausgewählten Worte wurden bei jeder Liste in der Datenbank gespeichert. Somit hat der Studienteilnehmer alle 20 Listen des FE an Testtag 1 gehört. Dieser Testtag war hiernach beendet.

Nach 14-21 Tagen unterzog sich der Teilnehmer Testtag 2. Hier wurden die gleichen Tests wie an Testtag 1 durchgeführt. Wichtig war hierbei, dass jeder Proband sowohl an Tag 1 als auch an Tag 2 bei den Tests unterschiedliche Listen hörte. Dies bedeutete, dass bei jedem Studienteilnehmer die Listen der beiden Tests Offen und Geschlossen an Testtag 2 vertauscht werden mussten.

2.5 Analyse

Mit den erhobenen Messdaten wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Sprachverständlichkeit für jeden Schalldruck beider Testmodi an Testtag 1 und 2 berechnet. Mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests konnte die Normalverteilung der ermittelten Messergebnisse für jeden angelegten Schalldruck nachgewiesen werden. Durch ein lineares Fitting wurde für Offen und Geschlossen der L50-Wert ermittelt. Analog wurden pro Probanden vier individuelle Steigungen am L50 bestimmt. Bei manchen Messreihen wurde diese durch lineare Regression oder Extrapolation bestimmt. Eine lineare Regression mit 3 Punkten wurde durchgeführt, falls bei einem getesteten Pegel im Mittelwert eine Sprachverständlichkeit von 50 % erreicht wurde. Wenn ein Proband bei allen getesteten Pegeln stets mehr als die Hälfte der geprüften Worte verstand, wurde mithilfe einer Extrapolation der vorhandenen Messwerte der L50-Wert abgeschätzt. Durch einen gepaarten T-Test wurden diese auf eine signifikante stochastische Abweichung zueinander geprüft. Ebenfalls wurden die Mittelwerte der Sprachverständlichkeit von Testtag 1 und 2 darbietungsspezifisch mit einem gepaarten T-Test untersucht. Alle oben beschriebenen Vorgehensweisen wurden mit Microsoft® Excel für Mac (Version 15.19) durchgeführt.

2.6 Korrektur der Messparameter

Nach den ersten drei durchgeführten Messungen (Proband #1-#3) zeigte sich, dass die vorab festgesetzten Schalldruckpegel, sowohl für die offene als auch die geschlossene Darbietung, zu hoch angesetzt waren. Die gemessene Sprachverständlichkeit erreichte keine Werte unter 50%. Aus diesem Grund wurden die zu prüfenden Pegel, wie unten dargestellt, nach zu geringeren Pegeln korrigiert. Ab Testperson #4 wurden nun die Pegel, wie in Abbildung 7 dargestellt, angepasst.

Offen	35dB	→	33dB	Geschlossen	28dB	→	26dB
	31dB	→	27dB		24dB	→	20dB
	27dB	→	23dB		20dB	→	16dB
	23dB	→	19dB		16dB	→	12dB

Abbildung 7: Durchgeführte Änderung der angebotenen Schalldruckpegel nach den ersten drei Probanden.

3 Ergebnisse

3.1 Mittleres Sprachverstehen

Mit allen Messdaten von Testtag 1&2 (#4-#25) wurde Tabelle 1 erstellt. Diese zeigt für die Präsentationsmodi Offen und Geschlossen jeweils die berechnete mittlere Sprachverständlichkeit und ihre Standardabweichung in Abhängigkeit des angelegten Schalldruckpegels. Zudem werden das beste (Max%) und das geringste (Min%) Messergebnis für den jeweiligen Pegel dargestellt. Die Normalverteilung wurde für alle erhaltenen Messwerte pegelspezifisch mit dem zweiseitigen Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest nachgewiesen ($\alpha=0,05$).

Tabelle 1: Angabe der mittleren Sprachverständlichkeit, des maximalen bzw. minimalen Testwertes und der Standardabweichung test- und pegelspezifisch.

Offener Test				
Pegel (dB SPL)	Mittlere Sprachverständlichkeit (%)			
		Max (%)	Min (%)	Stabw
33 dB	78,2	95	50	11,1
27 dB	62,8	95	5	16
23 dB	47,2	80	5	15
19 dB	29,5	55	0	13,6
Geschlossener Test				
Pegel (dB SPL)	Mittlere Sprachverständlichkeit (%)			
		Max (%)	Min (%)	Stabw
26 dB	81,7	100	55	10,1
20 dB	64,7	90	20	13,7
16 dB	48,4	80	0	15,9
12 dB	30,7	85	0	15,7

3.2 L50-Wert für die offene und geschlossene Darstellungsform

Um den L50-Wert für den offenen Test benennen zu können, wurde eine Geradengleichung durch zwei Punkte P (x [dB]|y [%]) und P' (x [dB]|y [%]) aufgestellt. Für den Testmodus Offen wurden P (27dB|62,8%) und P' (23dB|47,2%) gewählt. Mithilfe des Differenzenquotienten beider Punkte wurde eine Geradengleichung am L50 für die offene Darbietungsform berechnet.

Analog wurde die gleiche Operation bei den Punkten P'' (20dB|64,7%) und P'''(16dB|48,4) durchgeführt, um eine Funktion für die geschlossene Darbietungsform zu bestimmen. Hieraus ergaben sich folgende Gleichungen:

Offen: $y [\%] = 3,9 [\%/dB] * x - 42,3 [\%]$

Geschlossen: $y [\%] = 4,1 [\%/dB] * x - 17,1 [\%]$

Es berechnet sich für Offen ein L50 von 23,7 dB und für Geschlossen der Wert 16,4 dB. Somit lässt sich hier eine Differenz von 7,3 dB feststellen. In Abbildung 8 werden die berechneten Punkte aus Tabelle 1 graphisch dargestellt. Es werden die mittleren Verständlichkeiten und die dazugehörigen Standardabweichungen angetragen. Die beiden Schnittpunkte der Kurven mit der roten Horizontalen zeigen den oben berechneten L50 für beide Testmodi.

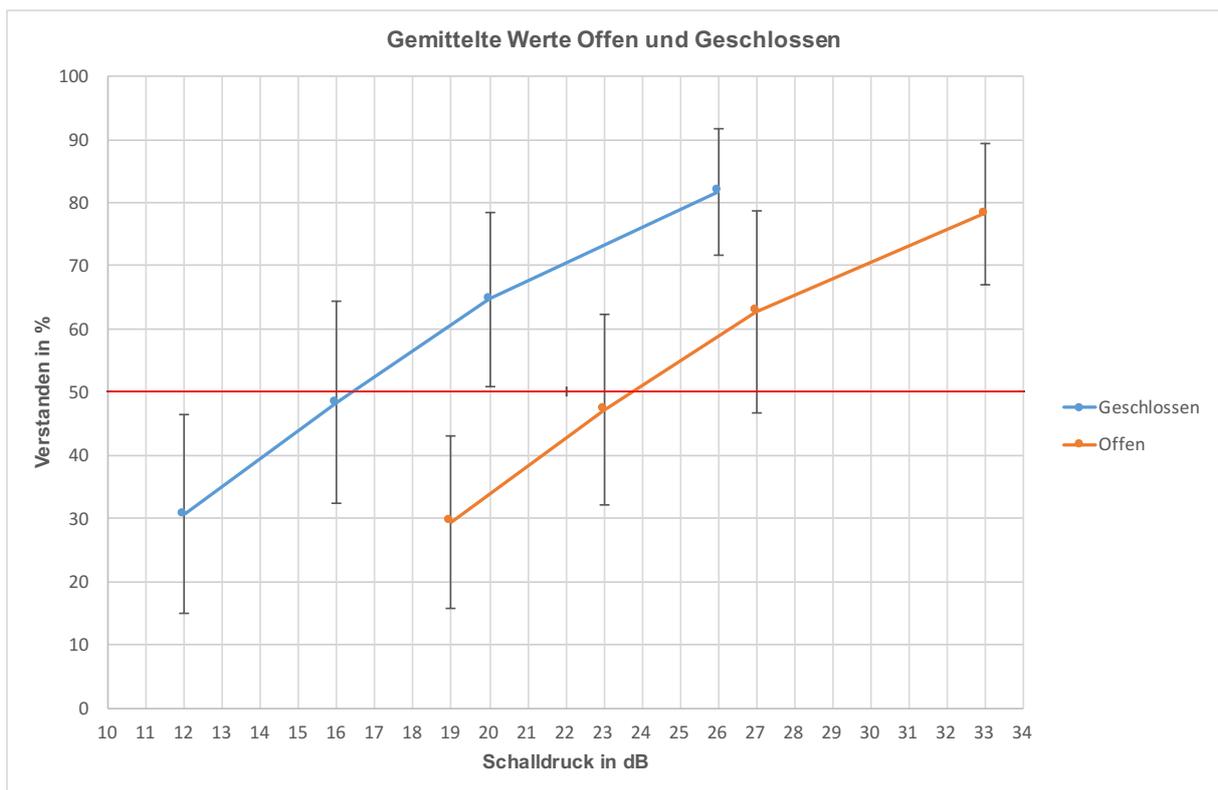


Abbildung 8: Darstellung der mittleren Sprachverständlichkeiten für beide Test Modi an beiden Testtagen (pegelspezifisch) mit Angabe der Standardabweichung. Grafische Darstellung des L50 Werts für Offen und Geschlossen. (Schnittpunkte der roten Horizontalen)

3.3 Steigung am L50-Wert

Die Berechnung der Steigung am L50 für die mittleren Sprachverständlichkeiten wurde in 3.2 ausführlich erläutert und dargestellt.

Hieraus ergab sich für den Testmodus Offen (Testtag 1&2) eine Geradensteigung von 3,9 [%/dB] am L50 und für Geschlossen (Testtag 1&2) eine Steigung von 4,1 [%/dB] am L50. Dies entspricht einer Differenz von 0,2 [%/dB].

Zusätzlich wurde für jeden Probanden die individuelle Steigung am L50 für beide Testmodi an beiden Testtagen berechnet. Somit ergaben sich für jeden Teilnehmer vier Steigungen am L50. Um diese zu ermitteln, benötigte es bei manchen Messreihen einer linearen Regression oder einer Extrapolation.

Für Offen ergaben sich für Testtag 1 eine Steigung von 5,1 [%/dB] und für die wiederholte Testung ein Wert von 5,9 [%/dB]. Bei Geschlossen ergaben sich die Werte 5,1 [%/dB] (Tag1) und 5,6 [%/dB] (Tag 2). In Abbildung 9 werden die erzielten Steigungen graphisch gesondert dargestellt.

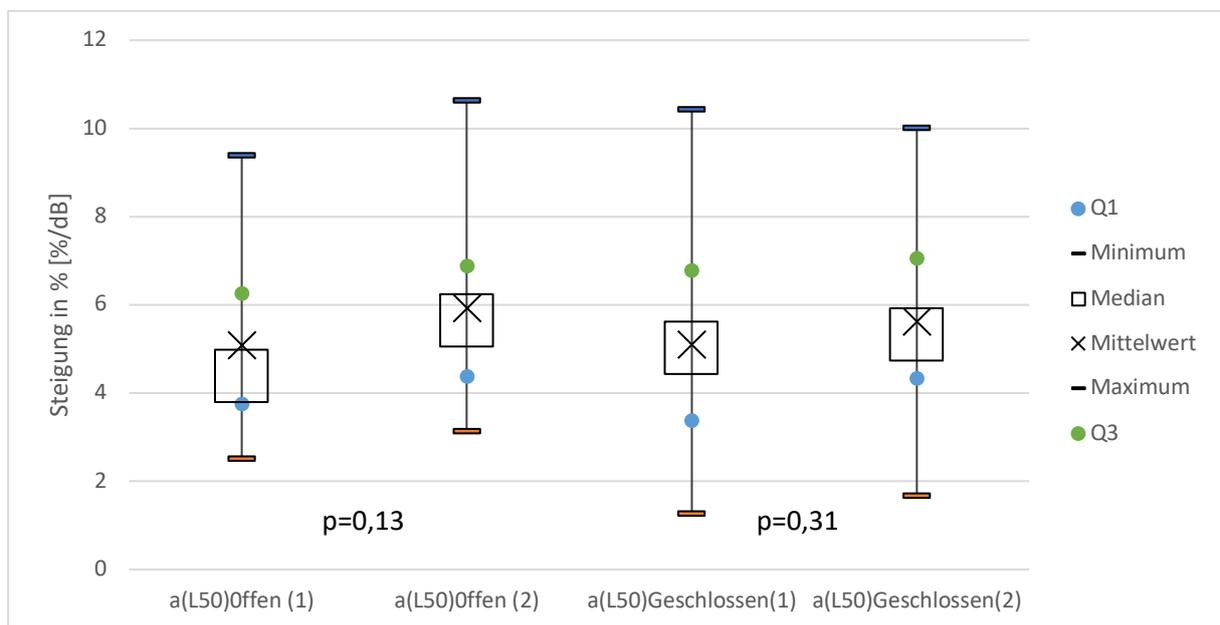


Abbildung 9: Individuelle Steigungen am L50 für beide Testtage und Testmodi gesondert dargestellt. (beispielhaft: a(L50) Offen 1 steht für Steigung bei 50% Verständnis bei Test Offen an Testtag)

Zusätzlich wurden die individuellen Steigungen am L50 (Offen) von Testtag 1 und Testtag 2 mit einem gepaarten zweiseitigen T-Test für abhängige Stichproben auf einem α -Fehler Niveau von 0,05 auf Unterschiede untersucht. Dies geschah analog auch für den Test Geschlossen.

Hiermit konnte für beide Darbietungsformen ein signifikanter Unterschied der Geradensteigung am L50 zwischen erstem und zweitem Studientag ausgeschlossen werden (s. Abbildung 9).

3.4 Reproduzierbarkeit: Test-Retest Abweichung

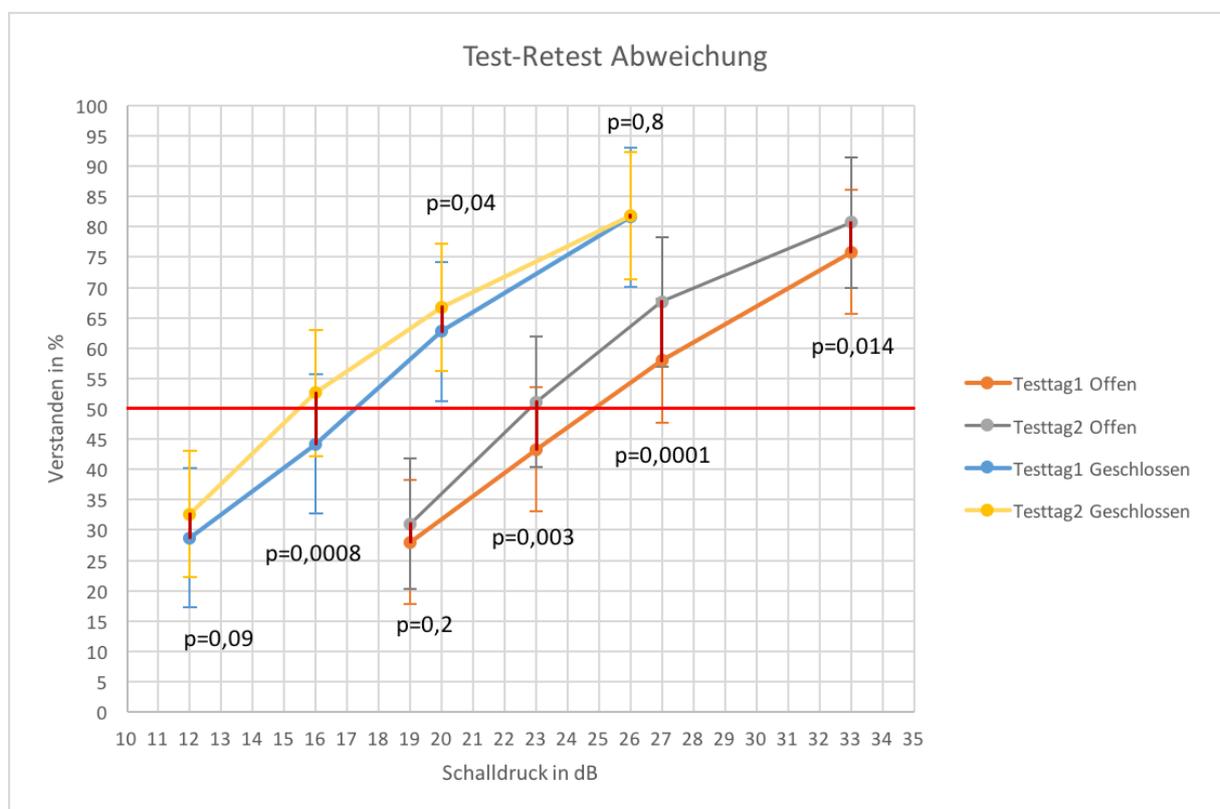


Abbildung 10: Es wurden die mittleren Sprachverständlichkeiten für beide Testmodi (Testtag 1 & 2) angetragen, die senkrechten roten Linien stellen die Differenzen von Retest zu Test dar. Darstellung des Standardfehlers für jeden gemessenen SPL, sowie der berechnete p-Wert.

In Abbildung 10 werden die mittleren Verständlichkeiten für Tag 1 (Test) und Tag 2 (Retest) für beide Darbietungsarten bei jedem SPL dargestellt. Es zeigte sich, dass bei beiden Testmodi für jeden SPL eine Verbesserung der Verständlichkeit stattfand.

Diese reichte von 0,3% bis 9,7% (absolut). Zusätzlich wurden die pegelspezifischen Verständlichkeiten beider Testtage mit einem gepaarten T-Test für abhängige Stichproben mit einem α -Fehler von 0,01 untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, dass bei der offenen Darbietung für die Messreihen bei 23 und 27 dB ein stochastisch signifikanter Unterschied besteht.

Bei der geschlossenen Darstellungsweise konnte dies nur bei 16 dB festgestellt werden (s. Abbildung 10).

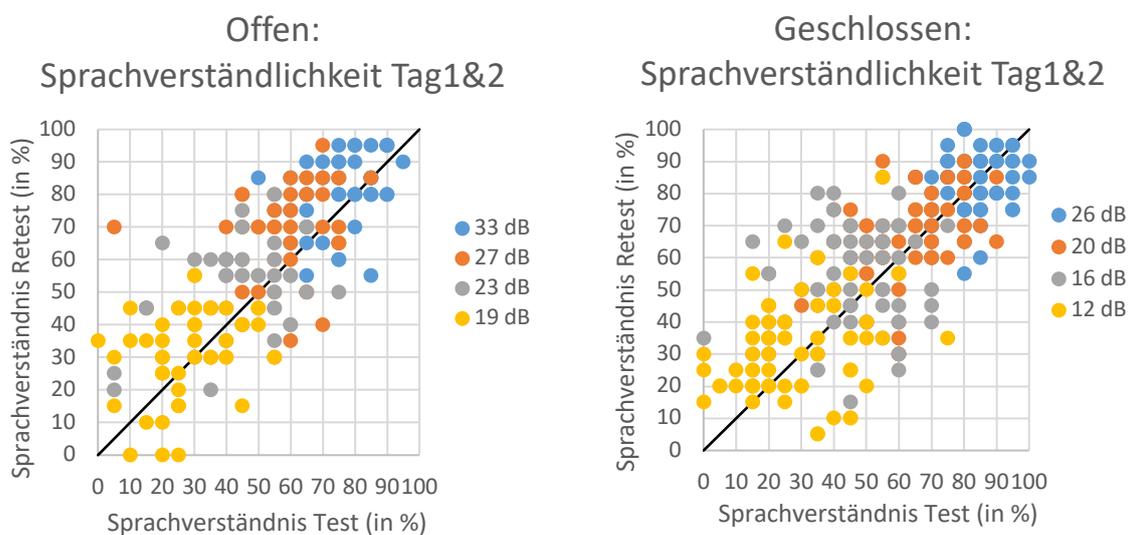


Abbildung 11: Gegenüberstellung der gemessenen Verständlichkeiten für Offen an Testtag 1&2 für alle SPL. (Messpunkte liegen übereinander)

Abbildung 12: Gegenüberstellung der gemessenen Verständlichkeiten für Geschlossen an Testtag 1&2 für alle SPL. (Messpunkte liegen übereinander)

Alle an Tag 1&2 erhobenen Messergebnisse wurden in Abbildung 11 und 12 gegenübergestellt und für jeden SPL wurden die Ergebnisse Test (Tag1) an der x-Achse und Ergebnisse Retest (Tag2) an der y-Achse angetragen. Um eine bessere Übersichtlichkeit zu erlangen, wurden die beiden Testmodi getrennt dargestellt.

Um eine bessere Beurteilung der Test-Retest Realibilität durchführen zu können, wurden für die offene und geschlossene Darbietungsweise ein Bland-Altman Plot erstellt (Abbildung 13 & 14). Es wurde der Mittelwert des Sprachverstehens in Prozent (gebildet aus der gemessenen Verständlichkeit von Test und Retest) gegenüber der Differenz des Sprachverstehens von Test und Retest angetragen.

Zudem wurden der Mittelwert und die Standardabweichung aller Differenzen bestimmt und in Abbildung 13 und 14 ersichtlich angetragen.

Für Offen ergab sich ein Mittelwert aller Differenzen von -6,4% und eine Standardabweichung von 13,04%. Somit liegen sechs Differenzen außerhalb des Intervalls $MW \pm 1,96 \cdot Std$. Bei Geschlossen befinden sich 5 Verständlichkeitspaare nicht im definierten Intervall, welches durch den Mittelwert -4,2% und die dazugehörige Standardabweichung von 11,8% festgesetzt wird.

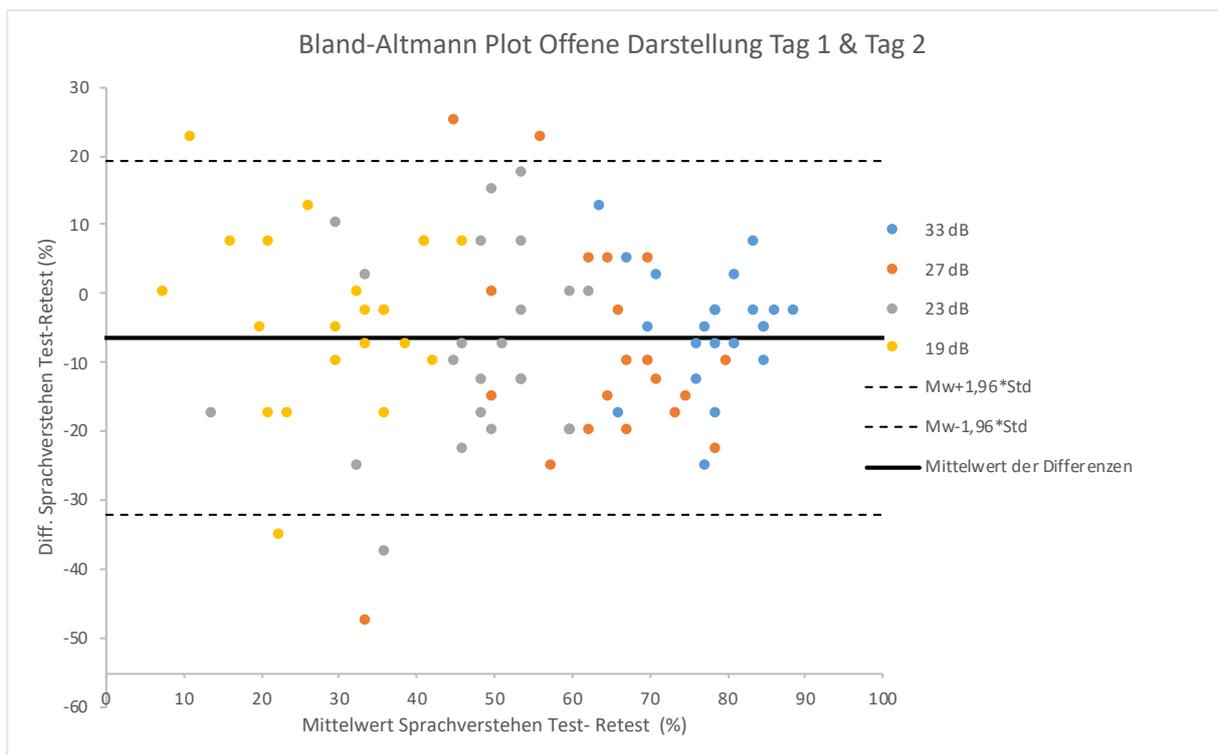


Abbildung 13: Bland-Altman Plot. Offener Testmodus. Die Differenz des Sprachverstehens (Test/Retest) ist gegenüber dem Mittelwert des Sprachverstehens (Test/Retest) angetragen. Zudem sind der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen eingetragen. (Messpunkte können überlappen)

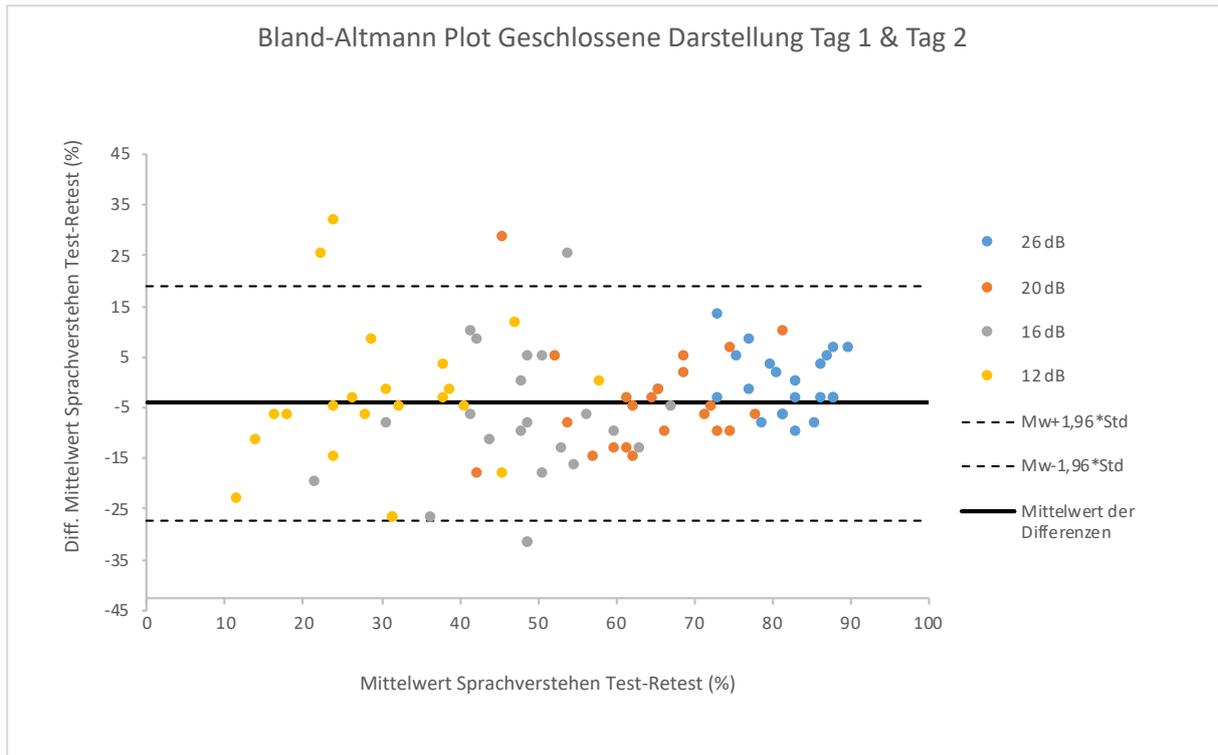


Abbildung 14: Bland-Altman Plot. Geschlossener Testmodus. Die Differenz des Sprachverstehens (Test/Retest) ist gegenüber dem Mittelwert des Sprachverstehens (Test/Retest) angetragen. Zudem sind der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen eingetragen. (Messpunkte können überlappen)

4 Diskussion

Zu Beginn der klinischen Testung zeigte sich nach dem dritten Probanden, dass mit den im Vorfeld festgelegten Schalldrücken keine Verständlichkeit unter 50% erreicht wurde. Aus diesem Grund wurden die Schalldruckpegel, wie in Abschnitt 2.6 gezeigt, zu geringeren Pegeln korrigiert. Alle in dieser Thesis angeführten und verwendeten Daten stammen ausschließlich von Proband #4-#25.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es Kenndaten für den FE in der geschlossenen Variante zu erheben.

Um diese aus den erhobenen Daten berechnen zu können, sollte man zu allererst seine Messreihen kritisch betrachten und auf Plausibilität hinterfragen. Wie im Vorfeld der klinischen Testung anzunehmen war, erreichten die Probanden bei Geschlossen, sowohl bei größeren als auch bei niedrigeren Pegeln, bessere Verständlichkeitswerte als bei Offen. Zudem wurde, durch die im Nachhinein veränderten Messpegel, bei Offen ein Wertebereich des Sprachverstehens von 0% bis 95% und bei Geschlossen von 0% bis 100% abgedeckt.

Betrachtet man nun die berechneten L50-Werte, so zeigt sich eine Differenz zwischen Offen (23,7dB) und Geschlossen (16,4dB) von 7,3dB. Mit diesem Ergebnis, wenngleich nicht so ausgeprägt wie angenommen, wurde die Arbeitshypothese bestätigt. Die geschlossene Darbietung des FE erreicht größere Verständlichkeit als die offene Testung. Dies lässt sich erklären, da der Proband aus den zehn angebotenen Wahlmöglichkeiten auswählen konnte und somit bei minimalem Verständnis, die für ihn schlüssigste Antwortmöglichkeit auswählte. Wohingegen beim „klassischen“ offenen Test sich diese Möglichkeit nicht bietet. Beim Design dieser Studie wurde von einer absoluten Differenz des L50-Werts der beiden Darbietungsmodi (Offen vs. Geschlossen) von ca. 4 dB, entsprechend der Vorversuche, ausgegangen.

In einer bereits 2004 von Thomas Brand veröffentlichten Arbeit wurde der FE in offener und geschlossener Darbietungsform untersucht. Hier unterzogen sich 20 normalhörende Probanden jeweils 4 Messreihen (für o.g. Testmodi) bei den Pegeln 23, 28, 33 und 38dB. Bei der geschlossenen Testung wählte die Versuchsperson aus insgesamt 31 Wahlmöglichkeiten aus (29 ähnliche Einsilber und die Option „Nicht

verstanden“). Durch diesen Versuch konnte Brand einen signifikanten Unterschied der Verständlichkeitsfunktion beider Darbietungsformen nachweisen. Für die offene Darbietungsform wurde ein L50 von 29,7 ($\pm 2,1$) dB bei einer Steigung von $a=4,7$ ($\pm 1,6$) %/dB ermittelt. Bei der geschlossenen Variante zeigte sich ein L50 von 27,0 ($\pm 2,9$) dB mit der dazugehörigen Steigung von $a=3,9$ ($\pm 1,4$) %/dB. Anhand dieser Beobachtung schloss Brand, dass der FE für das geschlossene Setting nicht geeignet sei, da bei gleich angelegten Schalldruckpegeln signifikant andere Werte im Vergleich zum offenen Setting reproduziert werden (40).

In unserer klinischen Studie wurden die angelegten SPL für Geschlossen gemäß unserer Arbeitshypothese abgeändert. Zudem untersuchten wir bei jedem Probanden die Messergebnisse von 12 Listen á 20 Einsilber, welche in geschlossener Form getestet wurden. Somit ermittelten wir unsere Bezugskurve aus insgesamt 264 Einzelmesswerten pro Testtag. So ergibt sich ein gemittelter L50-Wert für Geschlossen (Testtag 1 u. 2) von 16,4 dB bei einer Steigung von $s= 4,1$ %/dB.

Ein weiterer Unterschied im Studiendesign beider Arbeiten besteht in der Anzahl der Auswahlmöglichkeiten (10 versus 31) bei der Eingabe des zu testenden Einsilbers. Es stellt sich hier die Frage, ob ein Proband bei einer solch großen Auswahl an Eingabemöglichkeiten seine Konzentration konstant auf einem ausreichenden Level halten kann, um zuverlässige Ergebnisse produzieren zu können. Zudem geht aus der Beschreibung des Studiendesigns Brands nicht hervor, wie viele und welche Listen pro angelegten Schalldruckpegel getestet worden sind. Des Weiteren wird eine Anpassung des zu testenden Pegels (dB) beim geschlossenen Test, wie in der hier veröffentlichten Studie erläutert und vorhanden (s.o.), nicht vorgenommen.

Da es aktuell noch keine Kenndaten für den FE in geschlossener Form gibt, welche in der DIN verankert sind, ist es schwierig die hier erhobenen Messwerte mit einer entsprechenden Bezugskurve oder den darin enthaltenen L50-Wert zweifelsfrei vergleichen zu können.

Im Gegensatz hierzu existieren für den Testmodus Offen Referenzwerte. Diese wurden bereits 1974 von Brinkmann erhoben und erhielten Einzug in die DIN 45626-1. Mithilfe der 1974 durchgeführten Arbeit ermittelte Brinkmann einen L50-Wert von 29,3 dB für den FE (41). Somit besteht eine Differenz von 5,6 dB zwischen dem in dieser Studie ermittelten und dem in der Bezugskurve festgelegten L50-Wert. Um diesen Unterschied erklären bzw. rechtfertigen zu können, muss man den

Versuchsaufbau und das Vorgehen von Brinkmann genauer betrachten. An der Untersuchung nahmen 97 Probanden teil, davon waren 75 Teilnehmer jünger als 30 Jahre.

Bei der hier im Rahmen der Arbeit durchgeführten Studie betrug das mittlere Alter 24,3 Jahre (21J.-26J.). Wie auch in dieser Studie wurden die Personen zunächst auf Normalhörigkeit untersucht. Hiernach wurden durch bestimmte Kriterien, die auch der DIN ISO 8253-3 (s. 2.1) standhalten, 157 Ohren als normalhörend eingestuft. Im Vgl. waren in dieser Studie alle 50 untersuchten Ohren nach DIN ISO 8253-3 normalhörig. Brinkmann bot die zu testenden Items mit dem Kopfhörer Beyer DT 48 monoaural an, in der hier durchgeführten Studie wurden diese über einen Lautsprecher im Freifeld und binaural präsentiert. Brinkmann selbst erklärte, dass man bei Messungen im Freifeld wegen des binauralen Hörens den L50-Wert um 2,5 dB senken muss. Des Weiteren unterschieden sich die angebotenen SPL's. Bei Brinkmann wurde pro Ohr eine Testliste bei den Pegeln 21,5, 27,5, 33,5 und 39,5 dB geprüft. Die durch die Messpunkte definierte Kurve wurde hiernach über die Messgrenzen hinaus extrapoliert und der L50-Wert bestimmt (41).

Demgegenüber wurden bei Testmodus Offen bei 19, 23, 27 und 33 dB jeweils 2 Listen untersucht. Somit lässt sich die Überlegung anstellen, dass bei Offen eine realitätsgetreuere Darstellung der Sprachbezugskurve gelang. Da hier besonders in dem niedrigeren Schalldruckpegelbereich „echte“ gemessene Daten und keine berechneten Werte verwendet wurden. Zudem liegen pro Teilnehmer bei jeder getesteten Stufe 40 Messwerte vor.

Die Steigung s am L50-Wert der Diskriminationsfunktion, die auch den Wendepunkt derselben darstellt, ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal des dazugehörigen Testverfahrens. Sie besitzt die Maßeinheit [%/dB]. Je größer diese am Wendepunkt ist, desto besser ist die Verständlichkeit des geprüften Items. Die in der Einheit „Prozent pro dB“ angegebene Steigung gibt an, welche Verbesserung der Verständlichkeit beim Getesteten eintritt, falls der angelegte SPL um ein Dezibel gesteigert wird. Somit muss bei einem sprachaudiometrischen Prüfungsverfahren, das eine geringe Verständlichkeit aufweist, der angebotene SPL in größerem Ausmaß erhöht werden, um ein besseres Messresultat zu erhalten. Analog ist dies bei einem Testverfahren mit besserer Verständlichkeit nicht notwendig (42).

Für den FE in offener Darbietungsform finden sich in der Literatur unterschiedliche Werte für die Steigung am L50-Wert. So waren es bei Kollmeier et al. 5 %/dB (43), bei Winkler und Holube 3,9 %/dB (33) und bei Baljić et al. 4,5%/dB (36).

Durch unsere erhobenen Messdaten konnte man, wie in 3.3 dargestellt, für Offen (Testtag 1&2) eine gemittelte Steigung von 3,9 %/dB und für Geschlossen (Testtag 1&2) eine Steigung von 4,1 %/dB feststellen. Dies lässt vermuten, dass der geschlossene Test eine bessere Verständlichkeit aufweist, als die offene Darbietungsform. Wie oben erwähnt, ist der Testmodus mit angebotenen Antwortmöglichkeiten „leichter“, bzw. bietet eine bessere Verständlichkeit, im Gegensatz zur offenen „klassischen“ Darbietungsform.

Zusätzlich wurden, wie in 3.3 aufgezeigt, die individuellen Steigungen der einzelnen Probanden an beiden Messtagen bestimmt und mithilfe von diesen der jeweilige Mittelwert bestimmt. Die im folgenden dargestellten Resultate weichen stark von denen ab, welche im Absatz zuvor beschrieben wurden. Dies lässt sich durch die mathematischen Manöver erklären, die durchgeführt werden mussten, um bei jedem Teilnehmer vier Steigungen zu erhalten. Grund hierfür war z.B., dass manche Probanden trotz Pegelanpassung (siehe 2.6) keine Verständlichkeit unter 50% erreichten. Es zeigte sich, dass an Tag 1 sowohl Offen, als auch Geschlossen die gleiche Steigung von 5,1 %/dB aufwiesen. An Testtag 2 verzeichnete man bei Offen einen absoluten Zuwachs von 0,8 Prozentpunkten/dB auf 5,9 %/dB, wohingegen bei Geschlossen sich ein absoluter Anstieg von 0,5 Prozentpunkten/dB auf 5,6 %/dB einstellte. Durch einen gepaarten T-Test konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Steigungen Offen (Tag1) / Offen (Tag2) und Geschlossen (Tag 1) / Geschlossen (Tag 2) ausgeschlossen werden. Die Schlussfolgerung hieraus ist, dass bei beiden Testmodi, auch bei wiederholter Messung, die Steigung im L50-Wert statistisch konstant ist.

Bei dieser Beobachtung stellt sich die Frage, in welchem Maß sich s am L50-Wert (für Offen und Geschlossen) nach mehrfach wiederholten Messvorgängen verändern würde. Eine signifikante Abweichung der Steigung im L50-Wert hätte im Extremfall die Folge, dass der Proband eine falsch hohe oder falsch geringe Verständlichkeit erreicht. Nicht nur die Konstanz der Steigung am L50-Wert sollte bei wiederholter Testung eines Probanden angestrebt werden, sondern auch die Möglichkeit Testergebnisse bei wiederholten Messungen beim gleichen Patienten zu wiederholen.

Diese Reliabilität hängt zum einem vom durchgeführten Test bzw. der damit geprüften Items ab. Zum anderen wird diese Reliabilität auch vom Testergebnis selbst beeinflusst. So sind Ergebnisse mit sehr guten oder sehr schlechten Ergebnissen leichter zu wiederholen, als Ergebnisse die sich im Bereich von 50% Verständlichkeit bewegen (34).

Hagerman stellte die These auf, dass das Ergebnis eines sprachaudiometrischen Tests als binomialverteilt angenommen werden kann, unter der Bedingung, dass kein Lerneffekt und immer die gleiche Schwierigkeit der getesteten Items besteht. Somit lässt sich durch folgende Gleichung anhand des Testergebnisses in % (P) und der Anzahl der geprüften Items (N) die Standardabweichung (SD(P)) berechnen (44).

$$SD(P) = \sqrt{P * \frac{(100\% - P)}{N}}$$

Hoppe empfiehlt demnach bei einer Wiederholungsmessung nicht nur eine Liste, sondern zwei oder drei Listen zu testen und anhand der erzielten Listenergebnisse den Mittelwert zu bilden, um ein statistisch signifikantes Ergebnis (z.B. bei einer Hörgerätefolgskontrolle) zu erreichen. Dies ist dem Testdesign des FE geschuldet, der in aller Regel mit nur einer Testliste à 20 Testitems durchgeführt wird (34). Betrachtet man nun die oben genannte Gleichung, so zeigt sich, dass bei größer werdenden N der Quotient $\frac{(100\% - P)}{N}$ immer kleiner wird und folglich auch SD(P) abnimmt. Beim Design der hier vorgestellten Arbeit berücksichtigten wir den Rat Hoppe's und prüften bei Offen für jeden angelegten SPL zwei und bei Geschlossen drei Listen.

Wie man Abbildung 10 entnehmen kann, fand bei beiden Testmodi über allen geprüften SPL eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit statt. Diese reichte von 0,3% bis 9,7% (absolute Werte). Winkler und Holube beschreiben eine absolute Verbesserung von Test zu Retest von 1,4% bis 4,9%(45). Bei Pegeln im mittleren Verständnisbereich weichen die Ergebnisse von Test und Retest am stärksten voneinander ab. Wie oben erläutert war dies anzunehmen. Zusätzlich wurden die Ergebnisse, wie in 3.4 gezeigt, mit einem gepaarten T-Test (1% Signifikanzniveau) untersucht. Indem kein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnispaaeren von sehr hoher oder sehr niedriger Verständlichkeit festgestellt werden konnte, bestätigt dies nochmals die zuvor dargelegte Annahme.

Schmidt und Baljić zeigten, dass das Sprachverstehen beim FE innerhalb der ersten zwei Messlisten um ca. 5% zunimmt. Ab der dritten getesteten Liste können nach o.g. Autoren zuverlässige L50-Werte erwartet werden (46). Nach Ausschluss der ersten beiden (Offen) und der ersten vier getesteten Testlisten (Geschlossen) konnte diese Annahme nicht bestätigt werden. Vielmehr zeigten sich größere Differenzen der Messresultate bei den angelegten SPL (Testtag 2 – Testtag 1): Absolute Verbesserung: 1,4% bis 10,6%.

Die Auswertung der Messdaten mit Hilfe des Bland-Altman Plots zeigt, dass bei Offen 5,3% der Differenzpaare außerhalb des 95% Konfidenzintervalls lagen, bei Geschlossen waren es 4,4%. Ein ähnliches Ergebnis wurde in einer Studie von Winkler und Holube aufgezeigt, hier lagen in der Residuenanalyse nach Bland-Altman 5% der Messwerte außerhalb des durch $MW \pm 1,96 \cdot \text{Std}$ definierten Intervalls. Diese wurden besonders im mittleren Bereich des Sprachverstehens beobachtet. In dieser Arbeit wird zudem darauf hingewiesen, dass der FE aufgrund seiner wenigen Items pro Testliste eine hohe Messgenauigkeit besitzt. Des Weiteren sprechen die Autoren die Empfehlung aus für eine zuverlässige Diagnostik o.ä. mehrere Listen zu testen, oder sogar auf einen anderen sprachaudiometrischen Test zurückzugreifen (45).

Fraglich bleibt jedoch, ob die hier erhobene Reliabilität für den FE in geschlossener Darbietungsform im Vergleich zu der des offenen Präsentationsmodus als besser einzuschätzen ist. In der hier durchgeführten Studie war ein Unterschied von knapp 1% messbar.

5 Zusammenfassung

Mithilfe der hier durchgeführten Arbeit konnte ein grundlegender Überblick über den FE in geschlossener Darbietungsform geschaffen werden. So lieferte die geschlossene Testform ebenso valide Daten, wie die offene Prüfung der Items. Bei wiederholter Messung zeigten die ermittelten L50-Werte und ihre dazugehörigen Steigungen keinen stochastisch messbaren Unterschied. Zugleich konnte eine Testverlässlichkeit des FE in geschlossener Form nachgewiesen werden, die der Reliabilität des offenen Versuchssettings absolut ebenbürtig ist.

Fraglich ist, ob bei mehrfach wiederholter Messung die geschlossene Testform im Hinblick auf den s50 Wert einen Vorteil gegenüber der konventionellen Testung mit sich bringt. Auch wenn bzgl. der Steigung zwischen Testtag 1 und 2 kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte, so zeigte sich für Geschlossen ein Δ (s50 Testtag 2 – s50 Testtag 1) = 0,5%/dB und für Offen ein Δ (s50 Testtag 2 – s50 Testtag 1) = 0,8%/dB. Somit stellt sich die Frage, ob bei ausreichend großer Anzahl von Testwiederholungen s50 für beide Darbietungsmodi statistisch konstant bleibt. Für weitere Untersuchungen dieses Sachverhaltes wäre eine Ausweitung des Probandenkollektives und der Testtage von Vorteil.

Da die Äquivalenz der 20 Testlisten des Freiburger Worttests schon lange einen wesentlichen Kritikpunkt darstellt (manche Listen sind sehr leicht oder sehr schwer), ist zu überlegen, ob man die Anzahl der zu untersuchenden Listen beschränkt. So könnte man der Empfehlung von Bangert folgen und ausschließlich die Listen 1, 2, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 16, 17, 18, 19 zur Testung verwenden (47). Eine aktuelle Arbeit rät aufgrund fehlender perzeptiver Äquivalenz der Testlisten 5, 11, 12 und 15 zu deren Ausschluss (36). Durch das Weglassen gewisser Listen könnte man sehr gute, aber auch sehr schlechte Testergebnisse bereits im Vorfeld der eigentlichen Messung minimieren und somit die Aussagekraft der ermittelten Daten verbessern. Zudem sollten, wie oben beschrieben, vor der eigentlichen Messung dem Probanden mindestens zwei Listen zum „Üben“ präsentiert werden. So würde diese Modifikation der Untersuchung die Zuverlässigkeit des Tests verbessern.

Durch die hier aufgeführten Modifikationen lassen sich manche Schwachstellen, wie z.B. die z.T. fehlende Äquivalenz der vorhandenen Testlisten des Freiburger Worttests

(s. 1.4), kaschieren bzw. komplett ausschalten. Nichts desto trotz bleibt er ein „alter“ Test, welcher in der Kritik steht.

Wesentlich jüngere sprachaudiometrische Testverfahren, welche beispielshalber phonemisch besser konzipiert und strukturiert sind, warten darauf den Freiburger Worttest abzulösen. So konnte Sukowski et al. bestätigen, dass der Oldenburger Satztest und der Einsilber-Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier gute Alternativen zum Freiburger Sprachtest darstellen (48). Somit ist es wahrscheinlich nur eine Frage der Zeit bis der Freiburger Sprachtest, trotz aller Versuche der Optimierung und Verbesserung des Testsettings, durch neuere sprachaudiometrische Untersuchungsverfahren abgelöst wird.

6 Anhang

6.1 Danksagung

Ganz herzlich möchte Ich all denen danken, die an dieser Arbeit mitgewirkt und zu ihrer Entstehung beigetragen haben. Ganz besonders möchte Ich folgenden Personen danken:

Meiner Doktormutter, Prof. Dr. P. Ambrosch. Die mir diese Promotionsarbeit in Ihrer Klinik ermöglichte.

Meinem Betreuer, PD. Dr. rer. nat. M. Hey, der viel Zeit in die Betreuung dieser Arbeit investiert hat. Er war mir von Anfang an in allem eine große Hilfe, stand mir bei Fragen als Ansprechpartner jederzeit zur Verfügung und unterstützte mich immer mit wertvollen Vorschlägen. Dem gesamten Team der Audiologie des UKSH für ihre tatkräftige Unterstützung bei dieser Arbeit.

Ganz besonders meinen Eltern und meiner Schwester, zum einen für ihre fachliche Hilfe, insbesondere aber für Ihre Unterstützung und Motivation während meines gesamten Studiums. Meinen Freunden und Kommilitonen, die mir stets zur Seite gestanden haben, und hier besonders: Niklas Jüngling und Leonhard Leeb.

6.2 Veröffentlichung

SPRACHVERSTEHEN MIT OFFENEM UND GESCHLOSSENEM FREIBURGER SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST

Johannes Lühring¹, S. Kapahnke², Matthias Hey¹

¹Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

²Klinik für Allgemein-, Visceral- und Gefäßchirurgie; Charité Campus Benjamin Franklin; Berlin

22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie

6.3 Literaturverzeichnis

1. Heffernan E, Coulson NS, Henshaw H, Barry JG, Ferguson MA. Understanding the psychosocial experiences of adults with mild-moderate hearing loss: An application of Leventhal's self-regulatory model. *Int J Audiol.* 2016; 55: 3–12.
2. Heger D, Holube I. Wie viele Menschen sind schwerhörig? *Z Audiol.* 2010; 49: 61–70.
3. Mathers C, Smith A, Concha M. Global burden of hearing loss in the year 2000. Geneva: World Health Organization; 2000.
4. Schorn K. Die Aufgaben des HNO-Arztes bei der Hörgeräteversorgung. *HNO.* 2006; 54(2): 139–150.
5. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH. Mittelohr: Gehörknöchelchenkette. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH, Herausgeber. *Prometheus LernAtlas - Kopf, Hals und Neuroanatomie* [Internet]. 2009 [zitiert 12. Oktober 2019]. Verfügbar unter: <https://eref.thieme.de/cockpits/clAna0001/0/coAna00079/4-9963>
6. Boenninghaus H-G, Lenarz T. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde: jetzt neu mit Fallquiz. 13. Aufl. Heidelberg: Springer; 2007: 5-27.
7. Lang F, Lang P. *Basiswissen Physiologie.* 2. Aufl. Heidelberg: Springer; 2007: 410-418.
8. Hoth S, Neumann K, Mühler R, Walger M. *Objektive Audiometrie im Kindesalter.* 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer; 2014: 26-51.
9. Cebulla M, Ehrmann-Müller D, Shehata-Dieler W. Objective audiometry and clinical application. *HNO.* 2018; 66(1): 75–86.
10. Shahnaz N, Bork K, Polka L, Longridge N, Bell D, Westerberg BD. Energy reflectance and tympanometry in normal and otosclerotic ears. *Ear Hear.* 2009; 30(2): 219–33.
11. Onusko EM. Tympanometry. *Am Fam Physician.* 2004; 70(9): 1713–1720.
12. Neumann K, Walger M, Hoth S, Mühler R. Grundlagen. In: Hoth S, Neumann K, Mühler R, Walger M. (Hrsg.) *Objektive Audiometrie im Kindesalter.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2014: 5–53.

13. Walger M, Hoth S, Mühler R. Akustisch evozierte Potenziale (AEP). In: Hoth S, Neumann K, Mühler R, Walger M. (Hrsg.) Objektive Audiometrie im Kindesalter. Berlin, Heidelberg: Springer; 2014: 99–181.
14. Shehata-Dieler WE, Dieler R, Keim R, Finkenzeller P, Dietl J, Helms J. Universelle Hörscreening- Untersuchungen bei Neugeborenen mit dem BERAphon®. Laryngo-Rhino-Otol. 2000; 79(02): 69–76.
15. Krieger D, Adams HP, Rieke K, Schwarz S, Forsting M, Hacke W. Prospective evaluation of the prognostic significance of evoked potentials in acute basilar occlusion. Crit Care Med. 1993; 21(8): 1169–1174.
16. Lehnhardt E. Hörschwellenmessung und -wertung. In: Lehnhardt E, Laszig R, Hesse G. (Hrsg.) Praxis der Audiometrie: 9. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2009: 9-13.
17. Zahnert T. The Differential Diagnosis of Hearing Loss. Dtsch Aerzteblatt Online [Internet]. [zitiert 26. Februar 2018]; Verfügbar unter: <http://www.aerzteblatt.de/10.3238/arztebl.2011.0433>
18. Hoppe U, Hast A. Sprachaudiometrie bei der Indikation von Hörhilfen und Hörimplantaten. HNO. 2017; 65(3): 195–202.
19. Hoth S, Baljić I. Current audiological diagnostics. GMS Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg. 2017; 16: 1-41.
20. Kollmeier B. Psychoakustik und Sprachperzeption bei Normal- und Schwerhörigen, Oldenburg 2009 [Internet]. [zitiert 12.03.2018]. Verfügbar unter. <https://uol.de/mediphysik/lehre/vorlesungen/download-lecture-scripts>
21. Mrowinski D, Scholz G, Steffens T. Audiometrie: Eine Anleitung für die praktische Hörprüfung. 5. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2017: 62- 65.
22. Kompis M. Audiologie. 1. Aufl. Bern: Huber; 2004: 108-110.
23. Müller-Deile J. Das Cochlear Implant – neues Hören für beidseitig Taube. Z Med Phys. 1994; 4(4): 185–193.
24. Hagerman B. Sentences for testing speech intelligibility in noise. Scand Audiol. 1982; 11(2): 79–87.
25. Kuehnel V, Kollmeier B, Wagener K. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. Z Audiol. 1999; 38(1): 4–15.

26. Handbuch und Hintergrundwissen zum Oldenburger Satztest, HörTech, Oldenburg (Version vom 25.07.00).
27. Wagener K, Brand T, Kollmeier B. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache. III: Evaluation des Oldenburger Satztests. *Z Audiol.* 1999; 38(3):86–95
28. Hahlbrock, K. Über Sprachaudiometrie und neue Wörkerteste. *Archiv f. Ohren-, Nasen- u. Kehlkopfheilkunde.* 1953; 162: 394–431.
29. Gemeinsamer Bundesausschuss. Hilfsmittel-Richtlinie über die Verordnung von Hilfsmitteln in der vertragsärztlichen Versorgung (Hilfsmittel-Richtlinie/ HilfsM-RL). Gemeinsamer Bundesausschuss, Berlin; BAnz AT 16.02.2017 B3.
30. Deutsches Institut für Normung. DIN 45621-1 Sprache für Gehörprüfung. Teil 1: Ein- und mehrsilbige Wörter, Berlin: Beuth; 1995.
31. Deutsches Institut für Normung. DIN 45626-1 Tonträger mit Sprache für Gehörprüfung, Teil 1: Tonträger mit Wörtern nach DIN 45621-1, Berlin: Beuth; 1995.
32. Kompis M. *Audiologie.* 1. Aufl. Bern: Huber; 2004: 96.
33. Winkler A, Holube I. Was wissen wir über den Freiburger Sprachtest? *Z Audiol.* 2014; 53: 146–154.
34. Hoppe U. Der Freiburger Sprachverständlichkeitstest- überflüssig oder Notwendig? *Hörakustik.* 2004; 7: 6-9.
35. Alich G. Anmerkungen zum Freiburger Sprachverständnistest (FST). *Sprache – Stimme – Gehör.* 1985; 9: 1-6.
36. Baljić I, Winkler A, Schmidt T, Holube I. Untersuchungen zur perceptiven Äquivalenz der Testlisten im Freiburger Einsilbertest. *HNO.* 2016; 64(8): 572–83.
37. Schmidt T, Sinn K, Hey M, Baljić I. Lerneffekt bei dem Freiburger Einsilbertest. *DGA Jahrestagung, Bochum;* 2014.
38. Yund EW, Woods DL. Content and procedural learning in repeated sentence tests of speech perception. *Ear Hear.* 2010; 31(6): 769–78.
39. Deutsches Institut für Normung. DIN EN ISO 8253-3 Akustik – Audiometrische Prüfverfahren – Teil 3: Sprachaudiometrie, Berlin: Beuth; 2012.

40. Brand T, Wittkop T, Wagener K, Kollmeier B. Vergleich von Oldenburger Satztest und Freiburger Wörkertest als geschlossene Versionen. DGA Jahrestagung, Leipzig; 2004.
41. Brinkmann K. Die Neuaufnahme der „Wörter für Gehörprüfung mit Sprache“. Zeitschrift für Hörgeräteakustik. 1974; 13: 12–40.
42. Hoth S. The Freiburg speech intelligibility test: A pillar of speech audiometry in German-speaking countries. HNO. 2016; 64(8): 540–8.
43. Kollmeier B, Lenarz T, Winkler A, et al. Indication for and verification of hearing aid benefit using modern methods of speech audiometry in German. HNO. 2011; 59(10): 1012–1021.
44. Hagerman B. Reliability in the determination of speech discrimination. Scand Audiol. 1976; 5(4): 219–28.
45. Winkler A, Holube I. Test-retest reliability of the Freiburg monosyllabic speech test. HNO. 2016; 64(8): 564–71.
46. Schmidt T, Baljić I. Untersuchung zum Trainingseffekt des Freiburger Einsilbertests. HNO. 2016; 64(8): 584–8.
47. Bangert H. Probleme der Ermittlung des Diskriminationsverlustes nach dem Freiburger Sprachverständnistest. Audiologische Akustik. 1980; 19: 166–77.
48. Sukowski H, Brand T, Wagener KC, Kollmeier B. Untersuchung zur Vergleichbarkeit des Freiburger Sprachtests mit dem Göttinger Satztest und dem Einsilber-Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier. HNO. 2008; 57(3): 239–50.