

Aus der Klinik für Hals- Nasen- und Ohrenheilkunde
und aus der Sektion für Phoniatrie und Pädaudiologie
der Universität zu Lübeck

Komm. Direktor: Prof. Dr. med. Rainer Schönweiler

**Ermittlung einer Verstehenskurve für den Freiburger Einsilbertest bei
variablem Sprach- und Störschalldruckpegel und konstantem Signal-
Rausch-Verhältnis von 5 dB**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde

der Universität zu Lübeck

- Aus der Sektion Medizin -

vorgelegt von

Sarah Katharina Guy

aus

Freiburg im Breisgau

Lübeck 2020

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Jan Löhler
2. Berichterstatterin: Priv.-Doz. Dr. med. Anna Cirkel

Datum der mündlichen Prüfung: 28.10.2020

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 28.10.2020

Promotionskommission der Sektion Medizin

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel „Ermittlung einer Verstehenskurve für den Freiburger Einsilbertest bei variablem Sprach- und Störschalldruckpegel und konstantem Signal-Rausch-Verhältnis von 5 dB“ eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Lübeck, den

(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung und Fragestellung	6
1.1 Grundlagen.....	9
1.1.1 Physikalische Grundlagen	9
1.1.2 Menschliches Gehör	11
1.1.3 Sprachverarbeitung und Sprachverstehen	12
1.1.4 Standardisierung und gesetzliche Rahmenbedingungen in der Audiometrie	14
1.2 Quantifizierung des Hörverlusts.....	14
1.2.1 Reintonaudiometrie - WHO Einteilung der Schwerhörigkeit.....	14
1.2.2 Sprachaudiometrie.....	15
1.2.3 Versorgung mit Hörgeräten.....	16
1.2.4 Satztests.....	17
1.2.5 Adaptive und nicht-adaptive Messung.....	17
1.2.6 Freiburger Einsilbertest.....	18
1.2.7 Störschall und Störgeräusche.....	21
1.2.8 Bedeutung sprachaudiometrischer Messungen im Störschall	22
1.3 Fragestellung	24
2 Material und Methoden	25
2.1 Studiendesign	25
2.1.1 Ethikvotum	25
2.1.2 Statistische Beratung.....	25
2.1.3 Einschlusskriterien der Probandinnen und Probanden	25
2.1.4 Rahmenbedingungen und technische Geräte	25
2.1.5 Randomisierung.....	26
2.1.6 Durchführung	26
2.1.7 Auswertung der Daten mittels Statistik-Software	27
3 Ergebnisse	28
3.1 Studienpopulation	28
3.2 Messwerte	28
3.3 95 %-Konfidenzintervall.....	29
3.4 Verteilung der Häufigkeiten der gemessenen Ergebnisse.....	30
3.4.1 Interindividuelle Unterschiede	30
3.4.2 Mittleres Sprachverstehen beim FBE-S.....	31

3.5	Ermittlung der Normkurve für den FBE-S	31
3.5.1	Tabelle gemäß DIN EN ISO 8253-3.....	33
4	Diskussion	34
4.1	Kritik am Freiburger Einsilbertest.....	34
4.2	Stärken des Freiburger Einsilbertests.....	35
4.3	Diskussion der Studienergebnisse	36
4.3.1	Alter der Probanden	36
4.3.2	Interindividuelle Unterschiede	37
4.3.3	95 %-Konfidenzintervall.....	37
4.4	Messbedingungen.....	37
4.4.1	Wahl des CCITT-Rauschens als Störgeräusch	37
4.4.2	Darbietung des Störgeräusches	38
4.4.3	Anordnung der Lautsprecher	38
4.4.4	Positionierung der Untersucher	39
4.4.5	Perzeptive Äquivalenz der Testlisten	39
4.4.6	Auswahl der Probanden	40
4.5	Gründe für die Verwendung des FBE-S.....	41
4.6	Fazit für die Praxis	41
5	Zusammenfassung	43
6	Literaturverzeichnis.....	45
7	Anhang.....	51
7.1	Wichtige Begriffe und Definitionen der Audiometrie.....	51
7.2	Probandenaufklärung.....	53
8	Danksagung	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veraltete Darstellung der Hörschwelle in relativem dB-Maßstab nach Fant 1948 [32] und Abbildung des korrekten Sprachpegelfelds nach Steffens. Abbildung entnommen aus [90].	11
Abbildung 2: Streudiagramm des gemessenen Sprachverstehens in Prozent in Abhängigkeit des Schalldruckpegels des FBE-S.....	29
Abbildung 3: 95 %-Konfidenzintervall in Abhängigkeit des Schalldruckpegels des FBE-S.....	29
Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung des gemessenen Verstehens.....	30
Abbildung 5: Vergleich der Normkurve des FBE ohne Störschall (FBE) als Vierecke dargestellt mit der Kurve des FBE-S als Sechseck dargestellt.	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Schwerhörigkeit in Schweregrade gemäß WHO (2001).....	15
Tabelle 2: Wörterlisten des FBE nach DIN 45 621 [12, 21].	20
Tabelle 3: Mittelwerte, Mediane, obere und untere Grenzen der 95 %-Konfidenzintervalle (KI) zu den einzelnen Messpunkten.....	32
Tabelle 4: Minima und Maxima des Verstehens.....	32
Tabelle 5: Das Verstehen im FBE-S und die Mittelwerte und Mediane der zugehörigen Sprachschalldruckpegel.....	33
Tabelle 6: Wichtige Begriffe und Definitionen der Audiometrie wörtlich übernommen aus: [3, 12, 23, 24, 61, 78].	52

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AI	Artikulationsindex
ANF	engl.: auditory nerve fiber deutsch: auditorische Nervenfasern
APHAB	Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit deutsch: verkürztes Profil des Hörgeräte-Nutzens (Fragebogen zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens)
CCITT	frz.: Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique, deutsch: Internationaler Beratender Ausschuss für den Telegrafien- und Telefondienst
CI	Cochlea-Implantat
dB	Dezibel
dB HL	engl.: dB hearing level deutsch: dB Hörschwelle
dB SPL	engl.: dB sound pressure level deutsch: dB Schalldruckpegel
d.h.	das heißt
engl.	englisch
FBE	Freiburger Einsilbertest
FBE-S	Freiburger Einsilbertest im Störschall
FST	Freiburger Sprachtest (Zahlentest und Einsilbertest zusammengefasst)
frz.	französisch
FZT	Freiburger Zahlentest
GdB	Grad der Behinderung
GdS	Grad der Schädigungsfolgen
GÖSA	Göttinger Satztest
HilfsM-RL	Hilfsmittel-Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses vom 20.07.2017

HL	engl.: hearing level deutsch: Hörschwelle
HNO	Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz (tausend Hertz)
ICRA	engl.: International Collegium for Rehabilitative Audiology deutsch: Internationales Kollegium für Rehabilitative Audiologie
KI	Konfidenzintervall
L ₅₀	Sprachschallpegel bei 50 %-Sprachverstehen
MdE	Minderung der Erwerbsfähigkeit
mES	maximales Einsilberverstehen
OLSA	Oldenburger Satztest
OLKISA	Oldenburger Kinder-Satztest
p	Schalldruck
p_0	Schalldruck an der Hörschwelle = 20 μ Pa
Pa	Pascal
SNR	engl.: signal-to-noise-ratio deutsch: Signal-Rausch-Abstand
SPL	engl.: Sound Pressure Level deutsch: Schalldruckpegel
S0N0	Sprachschall- und Störschall von frontal (0°)
S0N180	Sprachschall von frontal (0°), Störschall von dorsal (180°)
vgl.	vergleiche
WHO	engl.: World Health Organisation deutsch: Weltgesundheitsorganisation

1 Einleitung und Fragestellung

Der Hörsinn ist einer der wichtigsten Sinne des Menschen. Insbesondere das Erkennen von Sprache und somit die verbale, lautsprachliche Kommunikation stellen die Hauptfunktionen des menschlichen Gehörs in der heutigen Gesellschaft dar [38, 89]. Laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) sind weltweit aktuell 466 Millionen Menschen mittelgradig schwerhörend [96]. Die Global Burden of Disease Study 2017 zählt Hörbeeinträchtigungen zu den häufigsten Ursachen einer Beeinträchtigung der Lebensqualität [40]. Kommunikationsstörungen sind auch wirtschaftlich relevant. Menschen mit Kommunikationsstörungen erfahren auf dem Arbeitsmarkt gravierende Nachteile. Sie sind häufiger arbeitslos oder haben geringer bezahlte Arbeit [84].

In Deutschland sind laut einer Querschnittsstudie aus dem Jahr 2017 11,1 Millionen Erwachsene¹ schwerhörend [94]. Hierzulande zählen den häufigsten Ursachen einer Schwerhörigkeit der altersbedingte sensorineurale Hörverlust (Presbyakusis), die lärminduzierte Schwerhörigkeit sowie Schwerhörigkeit als Folge einer chronischen Otitis media oder eines Cholesteatoms [87]. Der Anteil schwerhörender Menschen wird in den kommenden Jahren kontinuierlich steigen. Derzeit sind 16,2 % der Bevölkerung schwerhörend, prognostiziert wird ein Zuwachs von je einem Prozentpunkt in 5 Jahresintervallen. Die Erkennung und Versorgung betroffener Personen wird zukünftig an Bedeutung gewinnen [19, 94].

Eine Hörbehinderung kann durch verschiedene Beeinträchtigungen auffallen und Patienten in unterschiedlichem Ausmaß an der Teilhabe im Alltag einschränken. Schwerhörende können einer Unterhaltung nur schwer folgen. Insbesondere bei der Presbyakusis erschweren Umgebungsgeräusche und Störschall das Sprachverstehen und die reibungslose Kommunikation [35]. Es kommt zu häufigen Nachfragen des Gegenübers und zum Versuch vom Mundbild abzulesen. Der natürliche Austausch und die Sprachkommunikation werden gestört [67]. Schwerhörende Patienten leiden nicht ausschließlich unter einem schlechteren oder nicht vorhandenen Sprachverstehen, sie sind aufgrund ihrer Beeinträchtigung höheren Risiken ausgesetzt als Normalhörende. Eine unversorgte Schwerhörigkeit geht mit erhöhtem Risiko einher, wichtige akustische Warnsignale zu überhören (z. B. das Fallenlassen einer Gabel in der Küche zu überhören und sie nicht aufzuheben), zu stürzen (z. B. über die nicht aufgehobene Gabel), sich sozial zu isolieren (z. B. aus Scham vor der Unterbrechung der Kommunikation),

¹ Im Folgenden wird zur Verbesserung der Lesbarkeit und zur Wahrung der Genderneutralität durchgehend Plural zur Beschreibung von Personen verwendet, wobei alle Gender (m, w, d) gleichermaßen gemeint sind.

durch die Einsamkeit an einer Depression zu erkranken und kann nicht zuletzt auch (durch fehlendes mentales Training im Alltag) zu einer Abnahme der kognitiven Fähigkeiten führen [35, 55, 71, 85].

Es gibt eine umfangreiche Literatur zu den Ursachen von Schwerhörigkeit, aus der auch Präventions- und Therapiemaßnahmen abgeleitet werden, die das Eintreten von Folgeschäden einer Hörbeeinträchtigung zeitlich hinauszögern, abmildern oder verhindern können [29, 97]. Inzwischen gibt es zahlreiche Therapieoptionen für bereits schwerhörende oder ertaubte Patienten [105]. Weil unbehandelte Hörverluste eine soziale Isolation und weitere viele Nachteile nach sich ziehen, muss man sie zeitnah nach dem Auftreten bzw. nach der Diagnose behandeln.

Mittelohrerkrankungen kann man oftmals durch mikrochirurgische Operationen heilen und dadurch die Schwerhörigkeit minimieren oder beseitigen. Bei allen anderen Ursachen bleibt nur die Möglichkeit einer Hörgeräteversorgung. Doch auch diese hat Grenzen, denn der Hörverlust darf nicht zu stark sein (bis maximal hochgradig) und die Patienten müssen in der Lage sein, die Hörgeräte auch zu tragen, was z.B. bei vielen Hauterkrankungen nicht möglich ist. Sind diese Grenzen überschritten, kann die Implantation von Hörsystemen eine Lösung sein, wie z.B. beim Cochlea-Implantat (CI). Doch nicht nur die Heilung vom einem Hörverlust oder sein apparativer Ausgleich sind für die Behandlung wichtig, sondern auch psychosomatische Behandlungen und Hilfestellungen bei der Bewältigung des Alltags [67].

Menschen mit Hörverlust profitieren von einer frühzeitigen Diagnose, die zu einer operativen Therapie oder dem Einsatz von Hilfsmitteln führt. Schreitet eine Hörminderung voran (sog. progrediente Schwerhörigkeit) oder bleibt sie für längere Zeit unbehandelt, sinkt die Lebensqualität der betroffenen Patienten [6]. Eine frühzeitige, angemessene Therapie kann Sprachentwicklungsstörungen (bei Kindern) entgegenwirken [37]. Bei erwachsenen Cochlea-Implantat Patienten konnte gezeigt werden, dass das Sprachverstehen besser wird, je früher die Versorgung durch Implantate erfolgte [65]. Durch eine rasche Hörgeräteversorgung, hörverbessernde Operationen oder Hörimplantate können bei Erwachsenen negative Folgen einer Hörbehinderung abgemildert werden wie z.B. eine Stigmatisierung, Ausgrenzung, Isolation, sinkende Lebensqualität oder eine Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit [10, 67-69].

Für eine optimale Versorgung muss die Art der Schwerhörigkeit, ihr Ausmaß und die Prognose durch geeignete Hörtests untersucht und festgestellt werden. Es gibt sprachfreie Untersuchungsmethoden, die z. B. mit Sinustönen oder Rauschen durchgeführt werden, sowie sprachgebundene Verfahren, z.B. Worttests und Satztests. Die Tests finden in genormten

schallgedämmten Kabinen oder Räumen statt. Die Testmethoden haben jeweils spezifische Vor- aber auch Nachteile und überprüfen teilweise unterschiedliche Funktionen des menschlichen Hörens. Einige dieser Testmethoden werden in der vorliegenden Arbeit näher erläutert und ihre Nutzung in Hinblick auf ihre Vor- und Nachteile erörtert. So wichtig einheitliche und genormte Prozeduren für die Wiederholbarkeit der Ergebnisse und den Vergleich mit anderen Patienten oder für Studien auch sind, so wichtig ist es für die Interpretation zu wissen, dass die Hörsituationen stark von der genormten Diagnostik abweichen. [62].

In Deutschland wird die Versorgung mit Hörgeräten durch die Hilfsmittelrichtlinien (HilfsM-RL) des Gemeinsamen Bundesausschusses geregelt [1, 4]. In dieser werden die Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt. Zusätzlich sind in der HilfsM-RL auch die diagnostischen Tests festgelegt, welche zur Beurteilung einer Schwerhörigkeit und zur Verordnung von Hörgeräten eingesetzt werden sollen. Die Richtlinie ist bindend und gesetzsgleich.

Der Freiburger Einsilbertest (FBE) ist ein Sprachverstehenstest, der zur Diagnostik des Schweregrades einer Schwerhörigkeit und zur Erfolgskontrolle nach Hörgeräteverordnung eingesetzt wird. Die HilfsM-RL gibt vor, mittels FBE in Ruhe und bei Verwendung von Störschall das Einsilberverstehen bei fest vorgeschriebenem Schalldruckpegel von 65 dB Nutzschaall und 60 dB Störschall zu ermitteln [1].

Um die Messungen von Patienten beurteilen und interpretieren zu können, benötigen Untersucher Vergleichsergebnisse von normalhörenden Probanden. Diese Vergleichsergebnisse liegen in der Regel als Referenzkurve vor, die es erlaubt, krankhafte Befunde hinsichtlich der Schwere der Hörbeeinträchtigung abzuschätzen. Zu Beginn dieser Arbeit fehlten Untersuchungen, aus denen sich eine Referenzkurve für den Einsatz des Freiburger Einsilbertests im Störschall ableiten ließen. Kürzlich untersuchten Winkler et al. den FBE ebenfalls im Störschall und konnten zeigen, dass seine Verwendung im Störschall unter Angabe der Messbedingungen zur Hörgeräteverordnung und Hörgeräteüberprüfung geeignet ist [103]. Doch eine Referenzkurve bei variablem Schalldruckpegel und hierzu festem Störschallpegel wurde in der Arbeit von Winkler et al. nicht publiziert. Sie untersuchten vielmehr den FBE bei einem konstanten Störgeräusch mit einem Schalldruckpegel von 60 dB und modifizierten den Schalldruckpegel des Sprachschalldrucks. Ziel dieser Arbeit war es, diese Lücke zu schließen und eine Normkurve zu gewinnen, die es erlaubt, den Freiburger Einsilbertest im Störschall bei variablen Schalldruckpegeln mit konstantem Signal-Rausch-Abstand (SNR) von 5 dB von Störschall zu Sprachschall zu nutzen und somit eine besser alltagsnahe Testsituation für Patienten mit Hörminderung zu ermöglichen. Damit sollen die Ergebnisse der

Hörgeräteversorgungen auch unter versorgungsmedizinischen Bedingungen evaluiert werden können.

1.1 Grundlagen

1.1.1 Physikalische Grundlagen

Töne, Klänge, Geräusche und gesprochene Sprache entstehen an Schallquellen, die die Luft in Schwingungen versetzen, welche sich in Longitudinalwellen ausbreiten [31]. Die physikalische Einheit des Schalldrucks ist Pascal (Pa, N/m²) [11]. An der Hörschwelle beträgt der Schalldruck per definitionem 20 µPa. Im Allgemeinen wird der Schalldruckpegel bei audiometrischen Messungen in Dezibel (dB) angegeben. Das Dezibel berechnet sich logarithmisch aus dem Schalldruck (p) und dem Schalldruck an der Hörschwelle (p_0):

$$\text{dB} = 20 \log \frac{\text{Schalldruck}}{\text{Schalldruck an der Hörschwelle}} = 20 \log \frac{p}{p_0}, \text{ mit } p_0 = 20 \mu\text{Pa}$$

Der Schalldruckpegel an der Hörschwelle beträgt über alle Frequenzen hinweg 0 dB. Die physikalische Einheit der Frequenz, die die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde angibt, ist Hertz. Die Tonhöhe wird durch die Frequenz bestimmt. Je niedriger die Frequenz, desto tiefer der Ton und je höher die Frequenz, desto höher der Ton. Der vom jungen Menschen wahrgenommene Frequenzbereich liegt zwischen 20 Hz und 16 000 Hz. Jüngere Menschen, insbesondere Kinder, nehmen auch noch Töne mit einer Frequenz bis zu 20 000 Hz wahr [58]. Abgesehen von reinen Tönen, die eine einzelne Frequenz enthalten und deren Schalldruckwellen sich periodisch ausbreiten, gibt es auch noch Klänge und Geräusche. Der Reinton oder Sinuston ist dabei als theoretisches Konstrukt zu sehen, welches in der Natur nicht vorkommt. Es gibt allerdings technische Methoden, die eine sehr präzise Annäherung an einen Reinton erlauben. Die Schalldruckwellen von Klängen breiten sich ebenfalls periodisch aus, enthalten zusätzlich zum Grundton auch noch zusätzliche Obertöne. Ein Klang setzt sich somit aus mehreren Teiltönen, die jeweils Vielfache der Frequenz der Grundtöne sind, zusammen. Geräusche hingegen enthalten unterschiedlich zusammengesetzte Frequenzanteile und sind nicht periodisch [11, 58].

Bei der Feststellung einer Hörminderung spielt nicht der absolute Schalldruck eine Rolle, von dem an Patienten nichts mehr hören, sondern vielmehr wie groß die Abweichung des Hörvermögens zu normalhörenden Probanden ist. Es wird zwischen dem Schalldruckpegel an der Hörschwelle (dB HL, dB hearing level) und dem Schalldruckpegel (dB SPL, dB sound pressure level) unterschieden. Bei sehr niedrigen oder sehr hohen Frequenzen ist ein höherer Schalldruckpegel (dB SPL) erforderlich, um die Töne zu hören. Für Töne mit einer Frequenz

von 250 Hz oder 8 kHz ist z.B. ein Schalldruckpegel (dB SPL) von 20 dB erforderlich, um diese zu hören [77]. Zur Erstellung des Reintonaudiogramms wird zur Vereinfachung ein Bezugsschalldruck, der Schalldruckpegel an der Hörschwelle verwendet. Dies ist ein normierter, relativer Schalldruckpegel, bei dem die unterschiedlichen Frequenzen auf 0 dB normiert werden. Dadurch entsteht ein Audiogramm, in dem eine Gerade durch die Nullpunkte das normale Hörvermögen darstellt und eine Abweichung von dieser Geraden eine Hörminderung beschreibt [11, 52].

Der mittlere Schalldruckpegel des menschlichen Sprachbereichs liegt etwa zwischen 30 und 60 dB (Abb.1) [62]. Fant erstellte aus Messungen von 5-7 Männern ein Sprachpegelfeld und nannte dieses „Sprachbanane“. Inzwischen zeigte Steffens, dass dieses Bild der „Sprachbanane“ nicht stimmt, da sich Fant bei der Erstellung seiner Kurve verrechnet hatte. Die korrekt berechnete Kurve verläuft unterhalb von 4 kHz 17 dB niedriger und oberhalb von 4kHz etwa 21 dB niedriger als die Kurve von Fant. Sie zeigt nicht die starke Krümmung, die an eine Banane erinnert und sollte deshalb auch nicht „Sprachbanane“ genannt werden [92]. Nicht alle Frequenzanteile sind gleich wichtig, um Sprache wahrnehmen zu können. Insbesondere der Bereich zwischen 300 Hz und 4000 Hz ist für die Sprachwahrnehmung von Bedeutung. Eine Hörminderung außerhalb dieses Bereichs wird von Patienten zumeist nicht wahrgenommen, da ihr Hörverstehen in der Regel nicht betroffen ist. Erst wenn das Sprachverstehen zunehmend eingeschränkt wird, klagen diese Patienten über eine Beeinträchtigung. Tiefe Töne sind für das Verstehen von Vokalen, hohe Töne (2-4 kHz) für das Verstehen von Konsonanten (insbesondere t, p, k, f, s und ch) wichtig. Ein für die Presbyakusis typischer Hochtonverlust führt insbesondere im Störschall zu einem Diskriminationsverlust für Wörter mit vielen Reibelauten, die dann in Abhängigkeit von der Anzahl möglicher Reimwörter falsch „geraten“ werden [35, 62, 88].

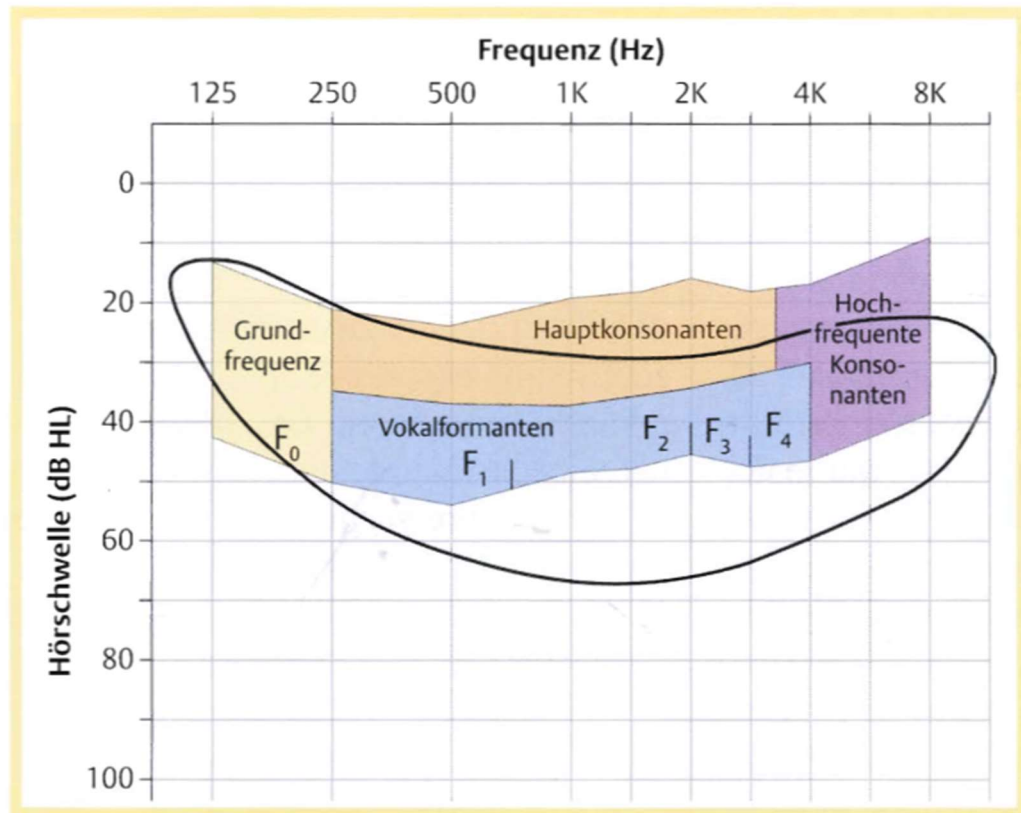


Abbildung 1: Veraltete Darstellung der Hörschwelle in relativem dB-Maßstab nach Fant (schwarze Linie: „Sprachbanane“) 1948 [32] und Abbildung des korrekten Sprachpegelfelds nach Steffens (bunte Fläche). Abbildung entnommen aus [90].

1.1.2 Menschliches Gehör

Beim Menschen gelangen Schallwellen durch den äußeren Gehörgang auf das Trommelfell und versetzen dieses in mechanische Schwingung. Die nachgeschalteten Gehörknöchelchen dienen sowohl als Verstärker, und übertragen die Vibrationen zum ovalen Fenster, als auch der Impedanzanpassung, einer Erhöhung des Drucks am ovalen Fenster gegenüber dem des Trommelfells, um einen Verlust der Schwingung beim Übergang zwischen Luft zu Flüssigkeit zu verringern [11]. Am ovalen Fenster wird die Perilymphe des Innenohrs in Schwingung versetzt. Es entsteht eine Wanderwelle, die entsprechend der Frequenz durch eine lokale Schwingung der Basilarmembran die inneren Haarzellen des Corti-Organs stimuliert [58]. Die inneren Haarzellen wandeln den mechanischen Reiz in elektrische Signale um. Die Abbildung einer genauen Frequenz auf einer dafür bestimmten Stelle wird Tonotopie genannt [58]. Sie wird bis zum Erreichen der Hirnrinde beibehalten. Neben den inneren Haarzellen gibt es in der Cochlea auch äußere Haarzellen, die das Signal verstärken können. Über den Nervus cochlearis und über einige Stationen der Hörbahn erreicht der elektrische Reiz das zentrale Nervensystem. In der Hirnrinde werden die eintreffenden Signale parallel verarbeitet [31, 36, 58].

1.1.3 Sprachverarbeitung und Sprachverstehen

Ein funktionsfähiges Gehör ist die Grundvoraussetzung für die Wahrnehmung, die Verarbeitung, das Verstehen und das Verständnis gesprochener Sprache. Im Alltag ist der Mensch konstant auditorischen Reizen ausgesetzt, auf die die Aufmerksamkeit gerichtet werden muss, um sie dann zu erkennen (zu dekodieren) und um darauf angemessen zu reagieren. Als wichtige Reize gelten Sprache und Gefahrensignale, wie plötzlich auftretende Geräusche. Das Gehör verarbeitet akustische Warnsignale und hilft bei der räumlichen Orientierung. Außerdem ermöglicht das menschliche Gehör die Kommunikation mittels Sprache. Zusätzlich zur Kommunikation dient Sprache dazu, auch paralinguistische Informationen wie Stimmungslage und Emotionen des Gesprächspartners sowie Sarkasmus zu übermitteln. Kinder können durch bekannte Stimmen, wie die ihrer Eltern, beruhigt werden oder durch fremde Stimmen verunsichert werden. Außerdem regt das Gehör die Phantasie an und ermöglicht dem Menschen, Musik zu genießen und selbst auszuüben. Schwerhörigkeit führt zu einer Abnahme der Lebensqualität durch Störungen psychischer Natur wie Ausgrenzung und Stigmatisierung, da die Teilhabe am Alltag und die natürliche Kommunikation mit anderen Menschen durch die Hörminderung eingeschränkt wird [20, 31, 40, 41, 46, 67].

Bis heute ist unklar, wie genau die Sprachwahrnehmung funktioniert [41, 83]. Zur Verarbeitung von akustischen Reizen sind Bereiche der Großhirnrinde verantwortlich. Anatomisch wird zwischen dem primären und sekundären auditorischen Kortex unterschieden. Die Verarbeitung der eintreffenden Informationen findet hauptsächlich im sekundären auditorischen Kortex statt [57]. Auditorische Impulse werden primär rational im Wernicke-Areal integriert, das in der dominanten Hemisphäre lokalisiert ist, dort finden entscheidende Prozesse für das Sprachverständnis statt. Die motorische Sprachproduktion ist im Broca-Areal lokalisiert [57, 58].

Neben den grundlegenden anatomischen und physiologischen Funktionen des Gehörs und der neuronalen Verarbeitung sind auch eine angemessene Wachheit (Vigilanz), Aufmerksamkeit und Verarbeitungsgeschwindigkeit wichtig [12, 53].

Die Erkennung gesprochener Sprache wird durch Neuronenverbände geleistet. Dieselben Informationen werden von unterschiedlichen Zellverbänden parallel verarbeitet. Zusätzlich können akustische Signale auch mehrere Informationen liefern. Diese unterschiedlichen Informationen werden ebenfalls in mehreren Neuronenverbänden verarbeitet und tragen zur Verarbeitung des Hörsignals bei. Die Neuronenverbände und die Parallelverarbeitung sowohl derselben Informationen als auch unterschiedlicher Informationen beschleunigen die Sprachverarbeitung [11, 31].

1.1.3.1 Pathophysiologische Grundlagen der Presbyakusis

Personen mit Presbyakusis klagen über vermindertes Sprachverstehen vor allen Dingen im Störschall. Die Hörverlustkurve von Patienten mit Presbyakusis zeigt einen Schrägabfall oberhalb 2-4 kHz im Tonaudiogramm [56].

Für den Hörverlust sind degenerative Prozesse im Innenohr sowie im zentralen Nervensystem verantwortlich [56]. Mit zunehmendem Alter nimmt die Anzahl der funktionstüchtigen äußeren Haarzellen aller Frequenzbereiche ab [16]. Dadurch nimmt die charakteristische Verstärkerfunktion der äußeren Haarzellen ab [56]. Die innere Haarzellen verfügen über keine eigenen Nervenfortsätze. Eine innere Haarzelle wird von jeweils einem Nervenfortsatz eines bipolaren Neurons des Spiralganglions des Hörnervs erreicht [58]. Sie bildet gemeinsam mit diesem ersten Neuron die sog. Ribbon-Synapse [75]. Hierbei handelt es sich um eine spezielle Synapse, die vor allem durch ihre fehlende Ermüdbarkeit gekennzeichnet ist und afferente Übertragungsraten von mehreren hundert Hertz aufweist [76]. Eine Dysfunktion oder eine Abnahme der Ribbon-Synapsen führt zu einem Hörverlust. Im Verlauf der Presbyakusis sind ebenfalls die inneren Haarzellen, bzw. die Ribbon-Synapsen betroffen, die höhere Frequenzen auf der Basilarmembran kodieren [86]. Es kommt zusätzlich zu einem Verlust der synaptischen Verbindungen zwischen den inneren Haarzellen und den Nervenzellen des Hörnervs [104]. Die Axone der sensorischen myelinisierten Typ I Nervenfasern des Hörnervs (ANF, auditory nerve fiber) ziehen vom Spiralganglion zu den inneren Haarzellen, die unmyelinisierten Typ II Nervenfasern ziehen zu den äußeren Haarzellen. Wu et al. untersuchten 20 Cochleae otologisch gesunder Menschen zwischen 0 und 89 Jahren. In der Gruppe der über 60-Jährigen konnten sie zeigen, dass es zu einer Abnahme von 30-40 % der äußeren Haarzellen über alle Frequenzbereiche kommt. Besonders fiel die unregelmäßige Verteilung der Abnahme der äußeren Haarzellen auf. Es wurde erstmals gezeigt, dass sowohl der basale als auch der apikale Teil der Cochlea besonders von der Abnahme der äußeren Haarzellen betroffen sind. Die Abnahme der inneren Haarzellen betrug bei den über 60-Jährigen Probanden lediglich etwas mehr als 15 %. Die alleinige Abnahme der Zahl innerer und äußerer Haarzellen kann somit nicht als hinreichende Ursache der für die Presbyakusis typischen Abnahme des Sprachverstehens und des Reintonaudiogramms im hohen Frequenzbereich gewertet werden. In der Untersuchung zeigte sich zudem, dass die sensorischen unmyelinisierten Typ II Fasern, welche zu den äußeren Haarzellen ziehen, auch bei den untersuchten menschlichen Cochleae der über 60-Jährigen weitestgehend erhalten blieben. Des Weiteren konnte eine Abnahme von über 60% der zu den inneren Haarzellen ziehenden Typ I Nervenfasern in der Gruppe der über 60-Jährigen beobachtet werden. Dieser signifikante Verlust der Innervation der erhaltenen

inneren Haarzellen stellt eine mögliche Ursache des Diskriminationsverlusts bei Presbyakusis dar [104].

Sowohl Lärm als auch zunehmendes Alter sind Ursachen für den Untergang der Ribbon-Synapsen und der Typ I Hörnervenfaser [76, 104]. Die neuronale Degeneration und insbesondere die Abnahme der Verbindung zwischen innerer Haarzelle und Typ I Faser des Hörnervs könnte eine mögliche Ursache für das geringere Sprachverstehen bei Umgebungsgeräuschen bei der Presbyakusis sein [56, 104].

1.1.4 Standardisierung und gesetzliche Rahmenbedingungen in der Audiometrie

In Deutschland werden audiometrische Messungen standardisiert nach den Normen DIN EN ISO 8253-1, DIN EN ISO 8253-2 und DIN EN ISO 8253-3 durchgeführt [23-25].

Den gesetzlichen Rahmen zur Versorgung mit Hörgeräten bildet die HilfsM-RL [1]. In ihr werden die Messverfahren zur Verordnung und zur Überprüfung von Hörhilfen festgelegt.

1.2 Quantifizierung des Hörverlusts

1.2.1 Reintonaudiometrie - WHO Einteilung der Schwerhörigkeit

Die Reintonaudiometrie misst den frequenzbezogenen Schalldruckpegel, den Patienten gerade noch wahrnehmen [58, 61]. Hierbei werden den Patienten Töne unterschiedlicher Frequenzen mit Hilfe eines Audiometers über Kopfhörer vorgespielt. Begonnen wird hierbei bei einem Schalldruckpegel von 0 dB. Die Untersucher steigern den Schalldruckpegel solange, bis die Patienten den Ton wahrnehmen. Patienten signalisieren, dass sie den Ton wahrnehmen, indem sie beispielsweise eine Taste drücken [61]. Das Messergebnis wird in einem sogenannten Audiogramm dargestellt, aus dem sich dann die Hörschwelle der Patienten ablesen lässt.

Die Weltgesundheitsorganisation teilt die Schwerhörigkeit in vier unterschiedliche Schweregrade ein. Die Einteilung erfolgt mittels Reintonaudiometrie. Für jedes Ohr getrennt wird die Hörschwelle bei 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz und 4.000 Hz ermittelt und anschließend der Mittelwert aus diesen vier Werten für jedes Ohr berechnet. Diese arithmetische Mittelung eines logarithmischen Maßes ist problematisch; derselbe arithmetische Wert kann auf durchaus unterschiedlichen, logarithmisch gemessenen Hörverlusten beruhen. Für diese Einteilung der Schwerhörigkeit werden die Werte des besseren Ohrs, das also einen geringeren Hörverlust aufweist, verwendet [97].

Grad der Hörschädigung	Hörverlust
keine	< 26 dB
gering	26-40 dB
mittel	41-60 dB
schwer	61-80 dB
an Taubheit grenzend	> 80 dB

Tabelle 1: Einteilung der Schwerhörigkeit in Schweregrade gemäß WHO (2001).

1.2.2 Sprachaudiometrie

Die Sprachaudiometrie dient der Beurteilung und Quantifizierung eines Sprachhörverlusts [13, 38, 43]. Mit ihrer Hilfe können Einschränkungen von hörgeminderten Patienten objektiv beschrieben werden. Außerdem kann beurteilt werden, inwiefern eine Hörhilfe ihren Nutzen der besseren sozialen Integration erfüllt [51].

Zeigt das Reintonaudiogramm einen Hörverlust im Hochtonbereich, ist es wahrscheinlich, dass Patienten mit einem solchen Reintonaudiogramm auch in der Sprachaudiometrie mit und ohne Störschall Ergebnisse erzielen, die ein ärztliches Handeln erfordern [13]. Für die Diskrimination von Wörtern und Sprache sind die Konsonanten von großer Bedeutung. Abb. 1 verdeutlicht, dass bei einer sensorineuralen Schwerhörigkeit Frequenzbereiche betroffen sind, die Konsonanten kodieren. Dies erklärt, warum das Sprachverstehen bei Patienten mit sensorineuraler Schwerhörigkeit geringer ist als bei Patienten mit einer Schwerhörigkeit anderer Ursache.

Patienten, die im hohen Frequenzbereich einen Hörverlust aufweisen, können mithilfe von Hörgeräten ein höheres Sprachverstehen erzielen als Patienten mit anderen Auffälligkeiten im Reintonaudiogramm [26]. Dies ist den modernen Hörgerätealgorithmen geschuldet. Sie modifizieren die aufgenommenen Signale, bevor sie weitergeleitet werden. Eine Gruppe der Hörgerätealgorithmen basiert auf der Signalkompression und wandelt höherfrequente in niederfrequente Signale um, welche die Hörgeräteträger wahrnehmen können [66].

Umgekehrt lässt sich allerdings nicht darauf schließen, dass Patienten mit unauffälligem Reintonaudiogramm auch in der Lage sind, Sprache zu verstehen, da außer dem Gehör noch zahlreiche andere Funktionen zum Sprachverstehen beitragen. Zu diesen Funktionen gehören unter anderem zentrale Prozesse und kognitive Fähigkeiten, zu denen das Arbeitsgedächtnis, die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Informationen und Sprachkenntnisse zählen [53].

Im deutschsprachigen Raum gibt es verschiedene sprachaudiometrische Tests, z. B. den Freiburger Einsilbertest, Logatomtest, Reimtest von Sotschek, Sprachaudiometrie mit Logatomen, Satztests z.B. Göttinger Sprachtest, Basler Satztest, Hochmair-Schulz-Moser-Test und der Oldenburger Satztest [13].

In dieser Arbeit werden insbesondere der Freiburger Einsilbertest, der Oldenburger Satztest und der Göttinger Sprachtest betrachtet, da diese Tests im klinischen Alltag am häufigsten zum Einsatz kommen und in der aktuellen Hilfsmittel-Richtlinie (HilfsM-RL) des Gemeinsamen Bundesausschusses zur Verordnung und Anpassung von Hörgeräten vorgeschrieben sind [4].

1.2.3 Versorgung mit Hörgeräten

Moderne Hörgeräte bestehen zusätzlich zur Batterie und des Gehäuses aus folgenden Komponenten [74]:

- Ein oder mehrere Mikrofone. Sie sind Schallwandler und dienen der Umwandlung von Schall in elektrische Energie.
- Ein Vorverstärker, ggf. pro Mikrofon. Er filtert die höchste, vom Mikrofon aufgezeichnete Frequenz heraus und verstärkt darüber hinaus das elektrische Signal.
- Einem Digital-Analog-Wandler. Er wandelt die analogen Mikrofonssignale zu digitalen, verstärkten Signalen um.
- Einem Signalprozessor. Er führt Algorithmen aus, wie beispielsweise die frequenzabhängige Signalverstärkung, Störgeräusch-Reduktion, Situationserkennung, die Amplitudenkompression.
- Einem Lautsprecher. Er erzeugt aus der Ausgabe des digitalen Signalprozessors Schall, der von den Trägern wahrgenommen werden.

Die Lebensqualität von schwerhörenden Patienten kann mithilfe von Hörgeräten deutlich gesteigert werden, sofern diese ein Zugewinn des Sprachverstehens bei diesen Personen bewirken. Für schwerhörende Patienten ist die Beurteilung, ob ein Hörgerät tatsächlich zu einer erwünschten Besserung der Hörfunktion führt, von zentraler Bedeutung. Sowohl für die Patienten als auch für den Kostenträger ist es wichtig abzuschätzen, ob Patienten tatsächlich von einer Versorgung mit Hörgeräten profitieren oder ob die Hörgeräte den gewünschten Nutzen verfehlen [79]. Im klinischen und Praxis-Alltag wird der Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit Fragebogen (APHAB-Fragebogen) zur Einschätzung des subjektiven Hörgerätenutzens verwendet [18]. Die Bewertung des APHAB-Fragebogens in Deutschland kann anhand einer Perzentilenkurve erfolgen, welche aus den Antworten von 35.000 Hörgeräteversorgungen gewonnen wurde [70].

Um festzustellen, ob die beidseitige Versorgung mit Hörgeräten bei schwerhörenden Patienten nötig ist, werden laut aktueller Hilfsmittel-Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses die Reintonaudiometrie in Kombination mit dem Freiburger Einsilbertest oder dem Oldenburger Satztest verwendet [1].

1.2.4 Satztests

Zur sprachaudiometrischen Messung werden im deutschsprachigen Raum neben dem Freiburger Einsilbertest auch Satztests eingesetzt wie z.B. der Göttinger Satztest (GÖSA) mit Alltagssätzen und Matrixtests wie beispielsweise der Oldenburger Satztest (OLSA).

Beim Göttinger Sprachtest werden den Patienten kurze Sätze vorgespielt, die anschließend nachgesprochen werden müssen. Der GÖSA umfasst 20 verschiedene Testlisten mit jeweils 10 Sätzen und 5 weitere Listen mit jeweils 12 Sätzen, die nur zu Übungszwecken dienen [13]. Zu Beginn wird den Patienten ein Satz mit deutlich überschwelligem Sprachschallpegel dargeboten und sie müssen diesen nachsprechen. Anschließend wird der Schalldruckpegel schrittweise verringert, bis die Patienten nicht mehr mühelos in der Lage sind die Sätze zu verstehen und nachzusprechen. Bei diesem Schalldruckpegel, das heißt sobald die Patienten die Sätze nicht mehr fehlerfrei nachsprechen, notieren die Untersucher den Prozentsatz der noch korrekt wiedergegebenen Wörter.

Der OLSA basiert auf einem Satztest, der 1982 von Hagerman in schwedischer Sprache entwickelt wurde [42]. Es existieren 40 Testlisten mit jeweils 30 unterschiedlichen Sätzen, die grammatikalisch wie folgt aufgebaut sind: Subjekt – Prädikat – Quantor – Adjektiv – Objekt [13]. Da der OLSA aus dem Schwedischen stammt und nicht nur ins Deutsche, sondern auch in zahlreiche andere Sprachen übersetzt wurde, kann dieser Test, international bekannt als Matrix-Test, auch bei Patienten in deren jeweiliger Muttersprache angewandt werden [60]. Im deutschsprachigen Raum wird der OLSA standardmäßig im Störschall als adaptive Messung durchgeführt [14, 62].

1.2.5 Adaptive und nicht-adaptive Messung

Bei der Testung des Sprachverstehens unter Verwendung eines Störgeräuschs unterscheidet man zwischen einer adaptiver und einer nicht-adaptiver Messung. Bei der nicht-adaptiven Messung wird der Signal-Rausch-Abstand während der Messung nicht in Abhängigkeit des erzielten Verstehens der Probanden verändert, sondern lediglich das gemessene Verstehen bei dem entsprechenden Schalldruckpegel notiert. Bei der adaptiven Messung hingegen wird der Störschall bei einem fest gewählten Schalldruckpegel dargeboten und der

Sprachschalldruckpegel variiert. Die Variation hängt hierbei von dem von den Probanden zuvor erzielten Verstehen ab und wird modifiziert, bis die Probanden nach Möglichkeit ein Verstehen von 50 % erzielen [13]. Prinzipiell gibt der gewählte Sprachhörttest die Messweise vor. Der OLSA sowie der GÖSA werden adaptiv gemessen. Der FBE wird in der Regel nicht-adaptiv verwendet, ist allerdings ebenfalls für die adaptive Messweise geeignet [13, 73].

1.2.6 Freiburger Einsilbertest

Der Freiburger Einsilbertest (FBE) wurde 1953 von Hahlbrock in Anlehnung an den von J. P. Egan in Harvard entwickelten „Artikulationstest“ entwickelt und veröffentlicht [30, 33, 43, 44]. Seitdem wird er bis auf kleine Änderungen, wie die Neuaufnahme des Sprachmaterials 1969 im deutschsprachigen Raum kontinuierlich zur Beurteilung von Sprachverstehen und zur Quantifizierung eines Hörverlusts eingesetzt [51, 81]. Für die Neuaufnahme wurde eine entsprechende Bezugskurve für den FBE in Ruhe experimentell festgelegt [17]. Der FBE wurde standardisiert untersucht und 1995 in den Normen DIN 45621-1 und DIN 45626-1 beschrieben [21, 22]. Der Übergang von Tonträgern zu CDs erfolgte, um den technischen Neuerungen gerecht zu werden. Dabei wurden weiterhin die Aufnahmen aus dem Jahr 1969 des Sprechers Klaus Wunderlich verwendet [82]. Aktuell ist der FBE auch als Neuaufnahme von 1976 nach Keller als Softwaremodul als Datei verfügbar [95], insgesamt existieren mehrere digitalisierte Versionen. In den letzten Jahren nahm die Kritik am FBE zu, was zu einer Reihe von Studien und zum Aufdecken einiger Schwachstellen des FBE führte [48, 51, 71, 73, 91, 101]. Unter anderem fehlte bislang eine Referenzkurve, um den FBE auch im Störschall auszuwerten [99].

Im klinischen Alltag wird vor Durchführung von Sprachhörttests ein Reintonaudiogramm durchgeführt und anschließend die 50 %-Sprachverstehensschwelle für Zahlen mittels Freiburger Zahlentest bestimmt. Beide Ohren werden jeweils über Kopfhörer einzeln geprüft, wobei die Sprachaudiometrie mit dem besser hörenden Ohr begonnen wird. Ausgehend des Schalldruckpegels des Freiburger Zahlentests (FZT), bei dem die Patienten 50 % der dargebotenen Wörter richtig verstanden und wiedergegeben haben, wird ihnen die erste Liste des FBEs um 15-20 dB höher dargeboten. Es wird der Prozentsatz der richtig wiedergegebenen Einsilber notiert. Dann erfolgt die Messung der zweiten Liste mit einem 10 -15 dB höheren Schalldruckpegel. Die Messungen werden so lange nach diesem Schema fortgeführt, bis die Patienten 100 % Verstehen erreichen oder aber das Verstehen über mehrere Messreihen trotz Schalldruckpegelerhöhung gleich bleibt oder etwa geringer wird [13]. Im Rahmen der Hörgeräteversorgung wird der FBE auch im Freifeld über Lautsprecher durchgeführt [1]. Der FBE wird standardmäßig im offenen Antwortformat durchgeführt. Die Patienten müssen dabei

die gehörten Wörter nachsprechen und die Untersucher diese wiederum verstehen und die Ergebnisse notieren. Im Gegensatz dazu wird den Patienten beim geschlossenen Antwortformat eine Auswahl an Wörtern vorgegeben und sie müssen lediglich das Wort auswählen, welches sie verstanden haben. Der FBE kann ebenfalls mit geschlossenem Antwortformat durchgeführt werden [15].

Eine Besonderheit des FBE im Vergleich zu anderen Sprachhörtests besteht darin, dass dieser kontextfrei ist. Die jeweils 20 dargebotenen Wörter pro Liste stehen weder in Bezug zueinander oder ergeben sinnhafte Kombinationen, anhand welcher die Probanden die dargebotenen Wörter richtig erraten könnten [43].

Liste	Wörter
1	Ring Spott Farm Hang Geist Zahl Hund Bach Floh Lärm Durst Teig Prinz Aas Schreck Nuss Wolf Braut Kern Stich
2	Holz Ruß Mark Stein Glied Fleck Busch Schloss Bart Ei Werk Dach Knie Traum Pass Kunst Mönch Los Schritt Fall
3	Blatt Stift Hohn Zweck Aal Furcht Leim Dorf Tat Kerl Schutz Wind Maus Reif Bank Klee Stock Wuchs Mist Gras
4	Schnee Wurst Zahn Pest Griff Laub Mund Grab Heft Kopf Reiz Frist Drang Fuß Öl Schleim Takt Kinn Stoß Ball
5	Punkt Ziel Fest Darm Schein Torf Lamm Wehr Glas Huf Spind Pfau Block Arm Neid Stroh Wurf Rest Blick Schlag
6	Seil Pfand Netz Flur Schild Ochs Draht Hemd Schmutz Rat Tau Milch Rost Kahn Tier Brot Dunst Haar Feld Schwein
7	Spiel Moos Lachs Glut Erz Baum Sand Reich Kuh Schiff Wort Hecht Mann Bruch Schopf Fels Kranz Teich Dienst Star
8	Luft Band Kost Ski Feind Herr Pflug Tal Gift Raum Ernst Zeug Fach Groll Speck Sitz Moor Last Krach Schwung
9	Schmerz Thron Eis Funk Bass Rind Lehm Grog Blei Markt Schilf Hut Zank Korb Lauf Dank Sarg Kies Schnur Pech
10	Horn Pfeil Kamm Turm Spieß Laus Recht Zopf Schall Mais Fell Gramm Ohr Sieb Pracht Lump Gips Bad Sprung Dreck

11	Bild Frosch Abt Ruhm Herz Mond Garn Bau Sicht Huhn Lack Kreis Pferd Pelz Schlacht Witz Form Stuhl Teil Rand
12	Brett Schuss Saft Pilz Ort Kraut Schwert Tag Gleis Vieh Spalt Sohn Druck Held Bahn List Flug Narr Kork Reis
13	Staub Licht Tracht Herd Not Wein Fluch Kalk Biss Grund Weg Fass Schmied Ross Amt Puls Meer Graf Schweiß Dolch
14	Schritt Ruf Gas Wert Korn Schrei Pfahl Blech Faust Rang Lohn Nest Pult Schicht Zoll Heu Angst Brust Dieb Stand
15	Knecht Schaf Lust Berg Docht Zeit Schlamm Kind Preis Uhr Mal Speer Fluss Sinn Rock Haupt Gang Trieb Boot Schmalz
16	Bund Stiel Wachs Reim Geld Tor Duft Stück Arzt Mehl Trotz Pfad Heil Brief Sau Fracht Dung Stern Loch Maß
17	Fink Schlauch Reh Grad Floß Hirn Fuchs Bein Napf Teer Stolz Art Wurm Ding Trab Bett Kleid Schatz Wut Pflock
18	Schnitt Frau Land Helm Bock Flucht Scherz Keil Rast Gruß Wohl Plan Krieg Ast Pfiff Weib Sturm Fang Tee Mord
19	Frucht Schlitz See Schar Gold Leib Wunsch Fraß Stier Ton Heer Dachs Bauch Kreuz Akt Pfund Sekt Glück Molch Rad
20	Fleisch Welt Rohr Park Flut Gries Saum Krebs Hand Gott Schuh Film Damm Zelt Koch Hanf Leid Bier Spruch Axt

Tabelle 2: Wörterlisten des FBE nach DIN 45 621 [12, 21].

Die Verstehenskurve von Patienten mit einer Schalleitungsschwerhörigkeit verläuft in der Regel parallel zu der von Normalhörenden. Die Diskriminationskurve einer Schallempfindungsschwerhörigkeit hingegen steigt geringer an als die Diskriminationskurve von normalhörenden Patienten. Patienten mit einer sensorineuralen Schwerhörigkeit können auch ein Verstehen von 100 % erzielen. Diese wird allerdings häufig erst bei sehr hohen Sprachschallpegeln erreicht [13].

1.2.7 Störschall und Störgeräusche

In der DIN EN ISO 8253-3 wird kein bestimmtes Störgeräusch zur Messung von Sprache mit Zusatzschall als Standard vorgeschrieben. Im Anhang der DIN-Norm werden drei Arten von Störgeräuschen aufgezählt, die sich als Zusatzschall zur Messung von Sprache im Störschall eignen. Hierzu gehören nichtmodulierte Geräusche, modulierte Geräusche und Stimmengewirr-Geräusche. Zusatzschalle, für die bereits Bezugskurven zur Messung von Sprache vorhanden sind, sollten bevorzugt eingesetzt werden.

1.2.7.1 Nichtmoduliertes Geräusch

Die Amplitudenmodulation des nichtmodulierten Geräusches ist sehr gering, weil die Frequenzen und Amplituden einer Aufnahme nachträglich so wenig wie möglich verändert werden. Das Sprachmaterial wird lediglich überlagert und durch diese Überlagerung entsteht das nichtmodulierte Geräusch [25, 52]. Verwendet man dieses nichtmodulierte Geräusch, um Sprache mit Störschall zu testen, so ergibt sich eine hohe Test-Retest-Reliabilität [25]. Ein Beispiel für ein nichtmoduliertes Geräusch ist das ICRA1-Geräusch, welches in der DIN EN ISO 8253-3 namentlich als Beispiel genannt wird [25]. Es ist eines von neun Störgeräuschen, die von dem International Collegium for Rehabilitative Audiology (ICRA, deutsch: Internationales Kollegium für Rehabilitative Audiologie) auf CD veröffentlicht wurden. Diese neun Störgeräusche wurden eigens für die Testung von Hörgeräten im Störschall entworfen und weisen unterschiedliche Charakteristika auf [28]. Die Geräusche ICRA1, ICRA2, ICRA3 sind nichtmodulierte Geräusche einer männlichen Stimme unterschiedlichen Stimmaufwands. Ein weiteres nichtmoduliertes Geräusch ist das CCITT-Geräusch [54]. Das CCITT-Geräusch ist ein standardisiertes, Sprachfrequenzverteilung-simulierendes Rauschen [52]. Es wurde von dem Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique (CCITT, deutsch: Internationaler Beratender Ausschuss für den Telegrafien- und Telefondienst) entwickelt. Das Geräusch setzt sich aus mehreren männlichen und mehreren weiblichen Stimmen verschiedener Sprachen zusammen. Der abgebildete Frequenzbereich entspricht den beim Telefonieren häufigsten Frequenzen und das Intensitätsmaximum liegt bei 800 Hz. Es erfolgt ebenfalls keine Modulierung des Sprachmaterials, lediglich eine Überlagerung [52].

1.2.7.2 Moduliertes Geräusch

Das modulierte Geräusch hat eine Amplitudenmodulation. Zu dieser Gruppe gehört das Störgeräusch nach Fastl, welches eine zeitlich modulierte Variante des CCITT-Rauschens ist [52]. Das Dreinsilberrauschen, bzw. das Störgeräusch nach Döring ist ebenfalls ein moduliertes Geräusch und wird aus dem Testmaterial des FBE gewonnen [27]. Das ICRA5-Geräusch ist ein

weiteres modulierte Geräusch und simuliert ein Gruppengeräusch oder Geräusche eines einzelnen Störsprechers [28].

1.2.7.3 Stimmengewirr-Geräusch

Das Stimmengewirr-Geräusch setzt sich aus Sprachmaterial von einem oder mehreren Sprechern zusammen. Je nachdem, wie hoch der Informationsgehalt das Geräuschmaterial ist, kann es Probanden zusätzlich zur Maskierung ebenfalls ablenken. Zu den Stimmengewirr-Geräuschen gehören unterschiedlichste Arten von Geräuschen wie beispielsweise rückwärts abgespielte Sprache und Sprachmaterial von durcheinander sprechenden Sprechern. Je nach Zusammensetzung hat es entsprechend unterschiedliche Verdeckungsgrade [25].

1.2.7.4 Wahl eines geeigneten Störgeräusches für den FBE-S

Die drei zuvor genannten Geräuscharten weisen alle unterschiedlich große Maskierungseffekte auf. Festen und Plomp, sowie Winkler et al. stellten unabhängig voneinander fest, dass Geräusche, die aus dem zu testenden Sprachmaterial gewonnen werden, den größtmöglichen Maskierungseffekt haben [34, 100]. Um ein geeignetes Störgeräusch für den FBE-S zu finden, untersuchten Winkler et al. den FBE mit unterschiedlichen Störgeräuschen. Sie stellten fest, dass das CCITT-Rauschen für Messungen des FBE-S gut geeignet ist und setzen dieses in einer späteren Untersuchung zum FBE-S ebenfalls als Störgeräusch ein [1, 100, 103].

1.2.8 Bedeutung sprachaudiometrischer Messungen im Störschall

Schwerhörenden Patienten fällt es schwerer, Sprache im Störschall zu verstehen als in Ruhe. Insbesondere Patienten mit sensorineuraler Schwerhörigkeit verstehen Sprache schlechter, sobald Umgebungsgeräusche hinzukommen [62]. In einer Studie mit 200 Patienten mit lärminduzierter Schwerhörigkeit konnte eine geringe Korrelation zwischen Hörschwelle im Tonaudiogramm und dem Sprachaudiogramm gezeigt werden. Die Diskrimination wurde in Ruhe bei 35, 50, 65 und 80 dB gemessen. Bei Probanden mit Hörminderung im niedrigen Frequenzbereich war die Hörminderung mit Werten zwischen 10 und 15 dB geringer ausgeprägt als bei Probanden mit Hörminderungen in anderen Frequenzbereichen. Die Autoren der Studie teilten die Probanden gemäß der Frequenz des Hörverlustes in zwei Gruppen ein. Sie folgerten, dass ein Hörverlust im Frequenzbereich oberhalb von 1 kHz mit dem Sprachverstehen im Störschall korreliert und ein Hörverlust im Frequenzbereich unterhalb von 1 kHz mit dem Sprachverstehen in Ruhe einhergeht [88]. Ob und wie die Ergebnisse der beiden Gruppen zusammenhängen könnten, wurde von den Autoren nicht weiter diskutiert. Man könnte vermuten, dass bei den Messungen mit Störschall mit höheren Sprachschalldruckpegeln gemessen wurde als in Ruhe. Außerdem könnte bei den Probanden mit Hörverlust im

niedrigeren Frequenzbereich der Hörverlust zu gering ausgeprägt gewesen sein, so dass deshalb keinerlei Auswirkung auf das Sprachverstehen in dieser Gruppe beobachtet werden konnte. Im Allgemeinen erheben sprachaudiometrische Messungen im Störschall zusätzliche Qualitäten des Gehörs, die über die reine Tonwahrnehmung und das Ergebnis des Tonaudiogramms hinausgehen. Sprachaudiometrische Messungen sind somit ein unersetzliches Messinstrument zur Quantifizierung eines Sprachverstehensverlusts und können nicht durch ein Tonaudiogramm ersetzt werden [61].

Um zu beurteilen, ob eine Hörgeräteversorgung eine Hörverbesserung im Störschall bewirkt, spielen entsprechende sprachaudiometrische Messungen eine wichtige Rolle. Das Ziel der HilfsM-RL ist es, das Hörvermögen Schwerhörender an das Hörvermögen Normalhörender anzugleichen. Die Rechtsgrundlage der HilfsM-RL bildet das Urteil des Bundessozialgerichts vom 17. Dezember 2009 (B 3 KR 20/08 R), welches besagt, dass ein Versicherter Anspruch auf einen maximalen Behinderungsausgleich hat [4]. Für Schwerhörende bedeutet dies, dass insbesondere das Sprachverstehen bei Umgebungsgeräuschen, in größeren Personengruppen und in großen Räumen verbessert werden muss. Dem Versicherten müssen hierzu die erforderlichen Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden. Um das Sprachverstehen im Störgeräusch bei Schwerhörenden quantifizieren zu können, gibt die HilfsM-RL zur Anpassung von Hörgeräten die Messung im Störschall vor [1, 4].

Bei der Hörgeräteversorgung werden sprachaudiometrische Messungen mithilfe des FBE auch im Störschall standardmäßig durchgeführt. Man vergleicht hierbei das Verstehen von Patienten im Störschall ohne Hörgeräte mit dem erreichten Verstehen mit Hörgeräten für zwei Listen bei 65 dB Sprachschalldruckpegel und 60 dB Störschallpegel. Die beiden Messungen (mit und ohne Hörgerät) müssen sich um mindestens 10 Prozentpunkte unterscheiden. Es wird angenommen, dass die Hörhilfe zu der gewünschten Hörverbesserung führt, wenn der Wert mindestens 10 Prozentpunkte beträgt. [1].

Einige Studien befassen sich mit der Durchführung des FBE-S. Memmeler et al. zeigten, dass sich der FBE-S auch entgegen seiner ursprünglichen nicht-adaptiven Messweise ebenfalls für das adaptive Messverfahren eignet [73]. Neubauer und Trapp untersuchten in ihrer Diplomarbeit unterschiedliche Sprachtestverfahren, unter anderem den FBE, hinsichtlich seiner Handhabbarkeit und Durchführung bei der Hörgeräteanpassung. Sie verglichen den OLSA und den Oldenburger Kinder-Satztest (OLKISA) mit dem FBE und stellten fest, dass sich vor allen Dingen der Oldenburger Kindersatztest (OLKISA) gut für die Anpassung von Hörgeräten bei Erwachsenen eignet. Er wurde von den Probanden als den angenehmsten durchzuführenden Test gewertet [80]. Welche Art des Störgeräusches für die Durchführung des FBE im Störschall

geeignet ist, untersuchten Winkler et al. [103]; hierbei verglichen sie miteinander das Verdeckungsgeräusch nach DIN 60645-2, das Dreinsilber-Rauschen, das CCITT-Rauschen und das ICRA1-Rauschen miteinander. Hier zeigte sich, dass für die Messung des FBE-S das CCITT-Rauschen gut geeignet ist. Insgesamt unterschieden sich die verschiedenen Störgeräusche signifikant, sodass das verwendete Störgeräusch bei Messungen im Störschall explizit mit angegeben werden sollte [100]. Winkler et al. untersuchten etwa zeitgleich zu der hier vorgestellten Studie ebenfalls den FBE-S. Sie nutzten allerdings unterschiedliche Messbedingungen und unterschiedliche Sprachschalldruck- und Störschalldruckpegel als die hier vorliegende Studie [103].

Um die Ergebnisse von Sprachhörtests im Störschall besser zu interpretieren und zu evaluieren, ist die Gewinnung einer Bezugskurve gemäß DIN EN ISO 8253-3 erforderlich [25].

Folgende Kriterien zur Bestimmung einer Bezugskurve sollen demnach eingehalten werden:

- Die Anzahl der Testpersonen beträgt mindestens 25.
- Die Testpersonen sind otologisch gesund (gemäß DIN EN ISO 8253-1)
 - Kein Cerumen im Gehörgang
 - Keine Einnahme ototoxischer Medikamente
 - Keine überdurchschnittliche Lärmbelastung in der Anamnese
 - Kein erblicher Hörverlust bekannt
- Die Muttersprache der Testpersonen ist Deutsch.
- Die Bezugskurve wird unter Nutzung des Zusatzschalls gewonnen.
- Die Ergebnisse der Messungen mit Zusatzschall werden in einer Tabelle angegeben. Aus dieser Tabelle lassen sich die Abhängigkeit zwischen dem Sprachpegel und dem Sprachverstehen ablesen.
- Die Sprachpegel für erzieltetes Sprachverstehen von 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 % und 90 % müssen in einer Tabelle aufgeführt werden.

1.3 Fragestellung

Um Hörverluste im Störschall bei Schwerhörenden zukünftig besser einordnen zu können, sollte mit der vorliegenden Arbeit in möglichst enger Anlehnung an die DIN EN ISO 8253-3 eine Normkurve für den Freiburger-Einsilbertest im Störschall mit einem festen Nutzschall-Störschall-Abstand von 5 dB ermittelt werden. Hierzu wurde an 60 normalhörenden Probanden das Verstehen bei variablen Schalldruckpegeln und zugehörigen, jeweils um 5 dB geringeren Störschallpegeln ermittelt.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

2.1.1 Ethikvotum

Ein Ethikantrag wurde der Ethikkommission der Universität zu Lübeck vorgelegt. Zur Durchführung der Studie und zum beschriebenen Forschungsvorhaben äußerte die Ethikkommission keine Bedenken. Ein Ethikvotum zur Durchführung der Studie war nicht erforderlich. Eine statistische Beratung wurde empfohlen und in Anspruch genommen.

2.1.2 Statistische Beratung

Herr Dr. Pinnschmidt vom Institut für Biometrie und Statistik am Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf hat uns statistisch beraten.

2.1.3 Einschlusskriterien der Probandinnen und Probanden

Voraussetzungen zur Teilnahme an der Studie waren:

- Muttersprache deutsch
- Alter zum Zeitpunkt der Messung zwischen 18 und 31 Jahren
- „otologische Normalität“ (gemäß DIN EN ISO 8253-1), welche mittels Anamnese, Ohrmikroskopie und Reintonaudiometrie nachgewiesen wurde

2.1.4 Rahmenbedingungen und technische Geräte

2.1.4.1 Ort der Messungen

Die Messungen wurden am Bundeswehrkrankenhaus Hamburg in der Klinik für Hals- Nasen- und Ohrenheilkunde durchgeführt.

2.1.4.2 Hardware

- Schallarme Hörkabine DIN EN ISO 8253-1 [23], DIN EN ISO 8253-2 [24], DIN EN ISO 8253-3 [25]
- Audiometer AURITEC AT 900 (AURITEC Medizindiagnostische Systeme GmbH, 22047 Hamburg)
- Audiometer AURITEC AT 1000-BED, SN: 1223, 2018, QM System nach DIN EN ISO 13485, (AURITEC Medizindiagnostische Systeme GmbH, 22047 Hamburg)

- Lautsprecher AURITEC Typ 100dB TF (AURITEC Medizindiagnostische Systeme GmbH, 22047 Hamburg)
- Patiententaster Rechts und Links (AURITEC Medizindiagnostische Systeme GmbH, 22047 Hamburg)
- Kopfhörer Beyerdynamic DT48A (Beyerdynamic GmbH & Co. KG)

2.1.4.3 Software

- Avantgarde Produktversion 5.0.0.22, Seriennummer: 43336399668, (Copyright Eng. Office J. Nuess 78052 Villingen-Schwenningen)
- Freiburger Einsilbertest (Westra auf Festplatte)
- Microsoft Office 365 Excel 16.20
- Microsoft Office 365 Word 16.22
- IBM Statistics SPSS 25, Studierendenlizenz Universität Hamburg
- EndNote X9, Studierendenlizenz Universität Hamburg
- GraphPad Software Inc., GraphPad PRISM 8
- Öffentliche Word Dokumentvorlage Universität Göttingen zum Verfassen von Abschlussarbeiten

2.1.5 Randomisierung

Die Randomisierung der Probanden erfolgte mittels fortlaufender Nummer. Das Alter und das Geschlecht wurden schriftlich erfasst. Die Reihenfolge, in der die Listen des FBE abgespielt wurden, wurde mithilfe von Zufallslisten festgelegt. Um zu verhindern, dass Probanden dieselbe Liste des FBE zweimal angeboten bekommen und dass die Reihenfolge der Listen einen Einfluss auf die Messung hat, wurden Zufallslisten verwendet. Die Listen 5, 11, 12 und 15 wurden ausgeschlossen, da vorherige Studien gezeigt haben, dass diese ohne Störschall nicht als perceptiv äquivalent zu betrachten sind [8]. Somit wurden jedem Probanden und jeder Probandin die restlichen 16 Listen des FBE bei jeweils zufällig unterschiedlichem Schalldruckpegel vorgespielt.

2.1.6 Durchführung

Zu Beginn erfolgten die Probandenaufklärung und eine kurze Anamnese, in der die Einnahme ototoxischer Medikamente, angeborene Hörstörungen, Muttersprachlichkeit und das Alter der Probanden erfragt wurden. Bei einer im Studiensinne positiven Anamnese, die zum Einschluss der Probanden führte, wurde eine schriftliche Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie eingeholt.

Nachfolgend wurde ein Reintonaudiogramm zur Feststellung der Normalhörigkeit durchgeführt. Normalhörigkeit wurde angenommen, wenn beidseits in der Luftleitung keine Prüffrequenz zwischen 0,125 und 8 kHz schlechter als 15 dB Hörleistung war.

Bei Normalhörigkeit wurde im Anschluss an die Reintonaudiometrie das Sprachverstehen im Störschall getestet. Die Liste des FBE traf hierbei in einem Winkel von 0° auf den Probanden und der Störschall in einem Winkel von 180°. Dies sollte die Situation im Alltag widerspiegeln, bei der Störgeräusche aus dem Hintergrund wahrgenommen werden und die Probanden sich ihrem Gesprächspartner zuwenden und dementsprechend die Sprache von vorne angeboten bekommen. Die Probanden wurden aufgefordert, aufrecht auf dem Stuhl sitzen zu bleiben, sich nicht dem Lautsprecher zu nähern und den Kopf nicht zu drehen. Die Versuchsleiterin befand sich während des gesamten Versuchs im selben Raum wie die Probanden und saß diesen gegenüber.

Zu Beginn wurde das Sprachverstehen mit einer Testliste des FBE bei 15 dB und bei gleichzeitigem Störschall von 10 dB CCITT-Rauschen gemessen.

Die nächste Liste wurde bei gleichbleibendem Störschallabstand von 5 dB jeweils um 5 dB höher dargeboten. Die Grenze lag bei einem Schalldruckpegel von 90 dB für den FBE und entsprechend 85 dB für den Schalldruckpegel des Störschalls. Insgesamt wurden somit bei jeder Probandin und jedem Probanden 16 Listen des FBE in Abständen von fünf Dezibel gemessen.

2.1.7 Auswertung der Daten mittels Statistik-Software

Zur Auswertung der Daten und zur Erstellung der Statistiken wurde Microsoft Office 365 Excel Version 16.20 sowie IBM Statistics SPSS 25 verwendet.

Mittels Excel wurden das mittlere Alter und die Standardabweichung der Probanden ermittelt. Zusätzlich wurden die Maxima, Minima, Mittelwerte, Median, 1. Quartil, 3. Quartil und Interquartilsabstand der Messungen des Sprachverstehens in Prozent in Abhängigkeit des Schalldruckpegels berechnet, inklusive der Standardabweichung und dem 95 %-Konfidenzintervall.

SPSS und GraphPad Prism wurden zur Erstellung der Grafiken und erneuten Berechnung der oben genannten Werte verwendet und zur Bestimmung der Kovarianzparameter.

Die Messungen an den Probanden wurden in Abhängigkeit vom Schalldruckpegel gemittelt, so dass eine Normkurve inklusive des 95 %-Vertrauensintervalls ermittelt werden konnte.

3 Ergebnisse

3.1 Studienpopulation

Die Reintonaudiometrie zum Screening einer Hörstörung wurde bei insgesamt 66 Probanden durchgeführt. Von diesen Probanden wurden sechs vor Durchführung des FBE-S ausgeschlossen, da sie die zuvor festgelegten Kriterien eines beidseitig normalen Gehörs nicht erfüllten.

Der Freiburger Einsilbertest im Störschall wurde somit an 60 Probanden durchgeführt, hiervon waren 29 weiblich und 31 männlich. Das mittlere Alter aller Probanden lag bei 24,3 Jahren mit einer Standardabweichung von 3,3 Jahren. Das mittlere Alter der weiblichen Probanden betrug 24,2 Jahre mit einer Standardabweichung von 3,2 Jahren. Das mittlere Alter der männlichen Probanden lag bei 24,4 Jahren mit einer Standardabweichung von 3,6 Jahren.

3.2 Messwerte

Im Streudiagramm (Abb. 2) fällt auf, dass das Sprachverstehen bei unterschiedlichem Schalldruckpegel insgesamt sehr stark variierte. Doppelt gemessene Werte für das Sprachverstehen wurden übereinander gelagert und somit in dieser Darstellung nicht in Korrelation zur Häufigkeit dargestellt. Das einmalige Nicht-Verstehen eines einzelnen einsilbigen Wortes innerhalb einer dargebotenen Liste führte bei 20 Wörtern pro Liste definitionsgemäß zu einem Verstehensverlust von 5 Prozentpunkten.

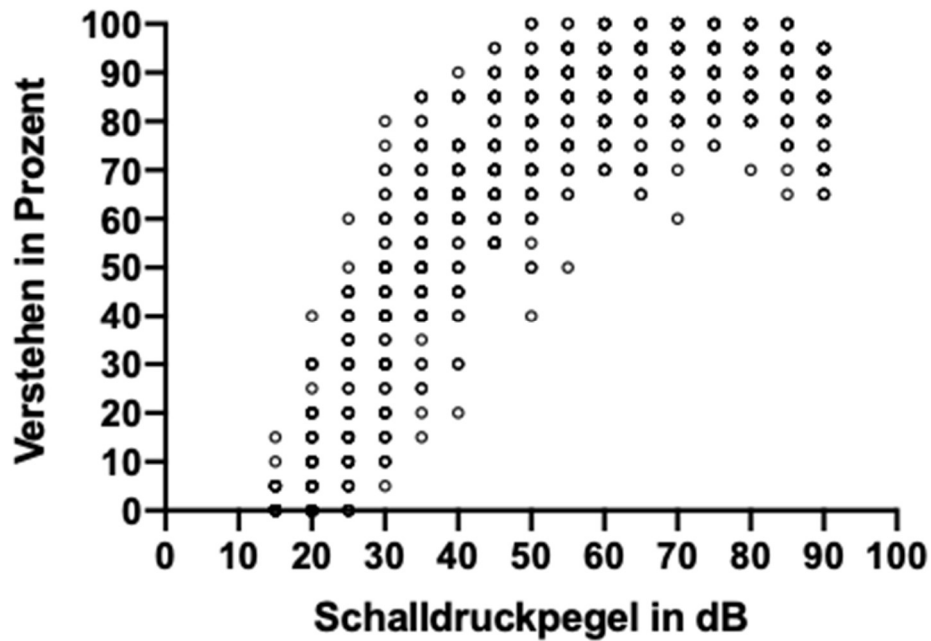


Abbildung 2: Streudiagramm des gemessenen Sprachverstehens in Prozent in Abhängigkeit des Schalldruckpegels des FBE-S. Der Störschalldruckpegel wurde jeweils um 5 dB niedriger dargeboten.

3.3 95 %-Konfidenzintervall

Die gemessenen Werte lassen sich mit den 95 %-Konfidenzintervallen darstellen (Abb. 3).

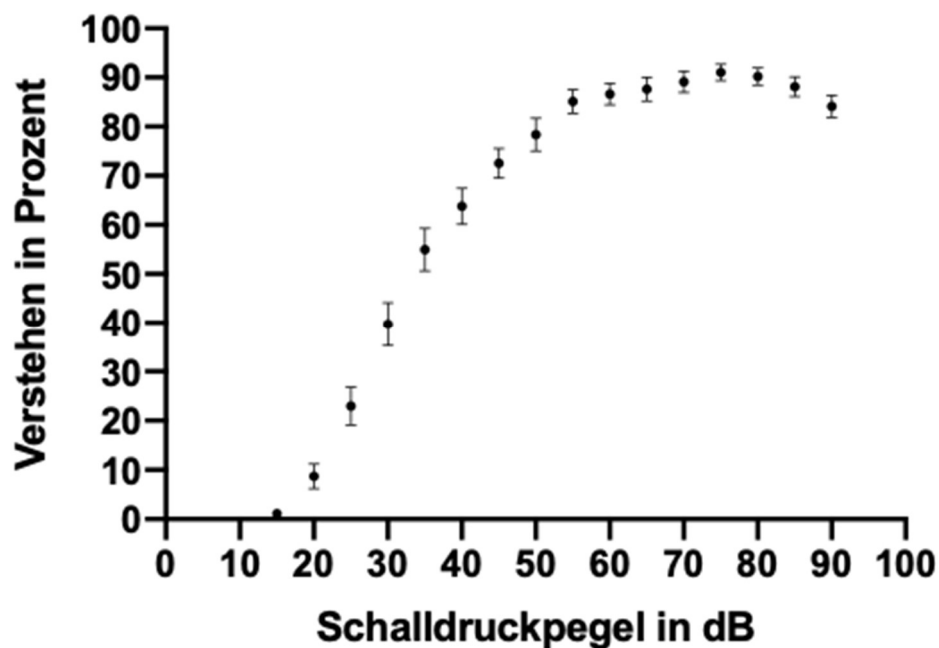


Abbildung 3: 95 %-Konfidenzintervall in Abhängigkeit des Schalldruckpegels des FBE-S.

3.4 Verteilung der Häufigkeiten der gemessenen Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt die Häufigkeit in Prozent auf der Ordinate in Abhängigkeit des Verstehens bei unterschiedlichen Schalldruckpegeln beginnend bei 15 dB FBE in 5 dB Schritten bis zum maximal dargebotenen Sprachschallpegel von 90 dB FBE. Die Häufigkeitsverteilung im niedrigen Schalldruckpegelbereich war sehr linkslastig. Das Verstehen war bei niedrigem Schalldruckpegel über alle Probanden hinweg bis auf wenige Ausnahmen sehr gering. Im mittleren Schalldruckpegelbereich war die Verteilung relativ ausgewogen und im hohen Schalldruckpegelbereich stellte die rechtslastige Verteilung das gute Verstehen dar.

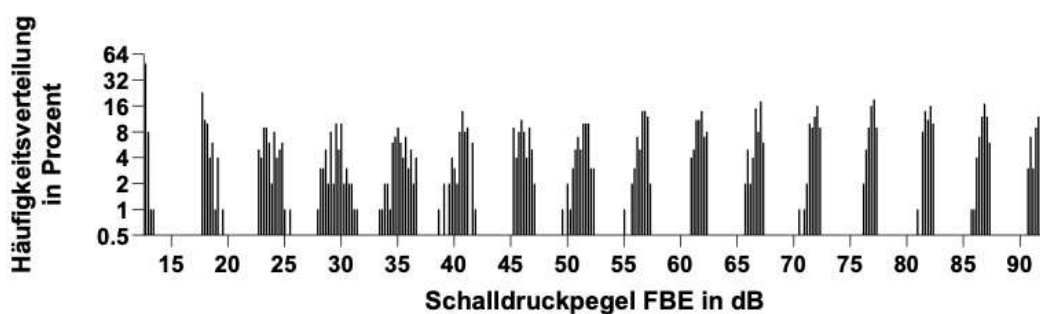


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung des gemessenen Verstehens. Auf der Abszisse sind die Häufigkeiten als Säulendiagramme pro Schalldruckpegel logarithmiert aufgezeichnet. Die jeweils am weitesten links gelegene Säule pro Schalldruckpegel stellt das Sprachverstehen 0 % dar. Die am weitesten rechts gelegene Säule stellt das Verstehen 100% dar. Jede benachbarte Säule unterscheidet sich um jeweils um 5 Prozentpunkte im Schalldruckpegel von der links oder rechts von ihr liegenden Säule. Die Säulen stellen die jeweilige prozentuale Verteilung der Messwerte dar. Um die Werte besser übersichtlicher darzustellen, wurde die Ordinate logarithmiert. Bei einigen Messpunkten konnte kein Verstehen von 0 % oder von 100 % berechnet werden.

3.4.1 Interindividuelle Unterschiede

Die Probanden wurden in zwei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe umfasste 25 Versuchspersonen älter als 25 Jahre. Die zweite Gruppe setzte sich aus 35 Versuchspersonen, die jünger als oder genau 25 Jahre alt sind, zusammen. Mittels SPSS (Version 25) t-Test für unabhängige Stichproben wurde untersucht, ob sich die Verstehenswerte der beiden Gruppen signifikant unterschieden. Die zweiseitige Signifikanz betrug zwischen 0,236 und 0,785. Dieser Bereich lag deutlich unter dem Signifikanzniveau von 0,05. Es konnte folglich beim Sprachverstehen kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Altersgruppen festgestellt werden. Infolgedessen wurden alle Versuchspersonen in die Auswertung einbezogen.

3.4.2 Mittleres Sprachverstehen beim FBE-S

Selbst normalhörende Probanden erzielten im Störschall lediglich ein mittleres Verstehen von 91,0 % bei 75 dB SPL Sprachschall und 70 dB Störschall. Das Verstehen nahm ab Werten größer und gleich 80 dB SPL Sprachschall und 75 dB SPL Störschall sogar noch weiter ab.

3.5 Ermittlung der Normkurve für den FBE-S

Aus den Messwerten wurde analog zur Erstellung der Normkurve des FBE eine Tabelle gemäß DIN-Norm 8253-3 erstellt (Tab. 6) [25]. Mithilfe dieser Tabelle konnte anschließend eine Normkurve für den FBE-S angefertigt werden.

Die erzeugte Normkurve des FBE-S unterscheidet sich von der Normkurve des FBE ohne Störschall. Dies lässt sich bereits anhand des deutlich flacheren Verlaufs der Diskriminationsfunktion des FBE-S im Vergleich zur Diskriminationsfunktion des FBE erkennen (siehe Abb. 5). Die Schalldruckpegel bei denen ein Verstehen von 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 % und 90 % erreicht wurden, sind höher als ohne Störschall.

Abbildung 5 ist das Punktdiagramm der Messwerte des FBE und FBE-S. Die Kurve mit Vierecken für einzelne Messpunkte stellt die Normkurve des FBE ohne Störschall dar. Die Kurven für Median und Mittelwert verlaufen beim FBE-S nahezu deckungsgleich. Die Kurve mit Sechsecken für die einzelnen Messpunkte veranschaulicht die aus den Mittelwerten gewonnene Kurve des FBE-S. Aus den gemessenen Daten ließ sich eine Normkurve für den FBE-S ermitteln. Diese Kurve des FBE-S verläuft unter der Normkurve des FBE.

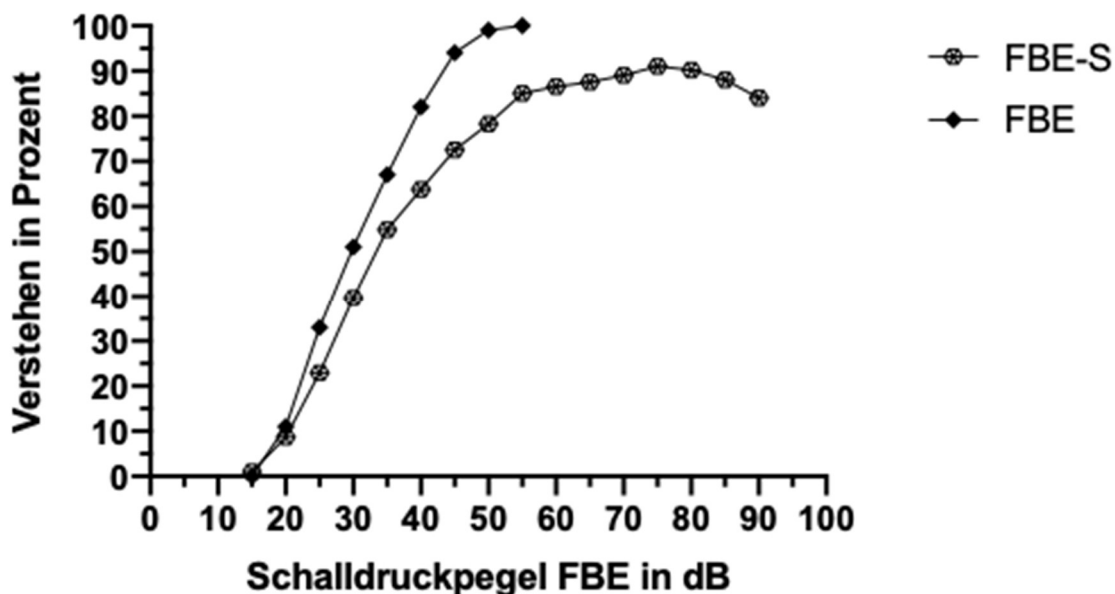


Abbildung 5: Vergleich der Normkurve des FBE ohne Störschall (FBE) als Vierecke dargestellt mit der Kurve des FBE-S als Sechseck dargestellt. Der Schalldruckpegel des Störschalls war jeweils 5 dB niedriger als der des Sprachschalls des FBE.

Sprachschall in dB	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Störschall in dB	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
Mittelwert	1,1	8,7	22,9	39,7	54,9	63,8	72,5	78,3	85,1	86,6	87,6	89,1	91,0	90,2	88,1	84,1
Median	0,0	5,0	20,0	40,0	55,0	65,0	70,0	80,0	85,0	85,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	85,0
oberes KI	1,8	11,2	26,7	44,0	59,1	67,4	75,4	81,6	87,5	88,7	89,9	91,2	92,6	91,9	90,0	86,3
unteres KI	0,4	6,2	19,1	35,3	50,7	60,1	69,6	75,0	82,7	84,4	85,2	87,0	89,4	88,4	86,1	81,8

Tabelle 3: Mittelwerte, Mediane, obere und untere Grenzen der 95 %-Konfidenzintervalle (KI) zu den einzelnen Messpunkten.

Sprachschall in dB	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Störschall in dB	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
Minimum	0	0	0	5	15	20	55	40	50	70	65	60	75	70	65	65
Maximum	0	40	60	80	85	90	95	100	100	100	100	100	100	100	100	95
Differenz	0	40	60	75	70	70	40	60	50	30	35	40	25	30	35	30

Tabelle 4: Minima und Maxima des Verstehens.

3.5.1 Tabelle gemäß DIN EN ISO 8253-3

In Anlehnung an die DIN-Norm 8253-3 wurde die Bezugskurve des Sprachverstehens hier auch als Tabelle angegeben. Diese zeigt die Abhängigkeit zwischen dem Sprachverstehen und dem Sprachpegel bei konstantem Signal-Rausch-Abstand von 5 dB. Aus der Tabelle sind die Sprachpegel in dB zu entnehmen, bei denen ein Verstehen von 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 % und 90 % erreicht wurde.

Verstehen in Prozent	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
Mittelwert dB SPL FBE	27,9	31,4	35,2	40,7	55,2	66,8	70,2
Median dB SPL FBE	27,5	30,0	35,0	40,0	50,0	67,5	70,0

Tabelle 5: Das Verstehen im FBE-S und die Mittelwerte und Mediane der zugehörigen Sprachschalldruckpegel.

4 Diskussion

Der Freiburger Einsilbertest wird im deutschsprachigen Raum seit über 60 Jahren routinemäßig verwendet; er ist die wichtigste Säule der Sprachaudiometrie im deutschsprachigen Raum [51]. Jedes Testverfahren, das sich durch langjährigen Einsatz bewährt hat, sollte in gewissen zeitlichen Abständen überprüft werden. Zu Beginn der Diskussion sollen die in der Literatur genannten Stärken und Schwächen des FBE noch einmal dargestellt und bewertet werden [7]. Ergänzende Studien über die Eigenschaften des FBE haben im Allgemeinen gezeigt, dass er weiterhin als Sprachverstehenstest im deutschsprachigen Raum gut geeignet ist. Einige Aktualisierungen und zusätzliche Studien, insbesondere für die Nutzung im Störschall, könnten den Gebrauch weiter stärken. Die hier vorgestellte Studie dient ebendieser Aktualisierung des FBEs. Ihre Ergebnisse werden im letzten Abschnitt kritisch diskutiert. Zusätzlich wird erörtert, warum der FBE im klinischen Alltag weiterhin eingesetzt werden sollte.

4.1 Kritik am Freiburger Einsilbertest

Die in der Vergangenheit geäußerten Kritikpunkte am FBE lauten:

- Einzelne Wörter der Testlisten seien nicht mehr zeitgemäß. Beispielsweise „Grog“, „Dung“ und „Zank“ welche im alltäglichen Sprachgebrauch kaum mehr genutzt würden. Andere setzen bestimmte Kenntnisse oder religiöse Orientierungen voraus (z. B. Gott, Abt, Mönch, Narr). Dies würde zu einem schlechteren Verstehen führen, da diese Wörter nicht bei allen Menschen im aktiven oder passiven Sprachwortschatz geläufig seien [7, 51, 91].
- Andere Wörter der Testlisten könnten eine psychische Hemmung verursachen. Die Hemmschwelle für Wörter wie „Sau“, „Tod“ und „Glied“ sei groß und manche Probanden könnten diese absichtlich falsch aussprechen [7, 51].
- Die perzeptive Äquivalenz der Listen 5, 11, 12 und 15 sei nicht gegeben [8].
- Die Probandenzahl bisheriger Studien, die sich mit dem FBE auseinandersetzen sei gering: Einige Studien, die sich mit dem FBE und seinen Eigenschaften befassen, würden nur ein geringes Kollektiv zwischen 15 und 20 Probanden untersuchen [63, 93].
- Die Ergebnisse des FBE über Kopfhörer seien nicht mit denen im Freifeld vergleichbar, da bei Übertragung mit Kopfhörern eine bessere Klangqualität erzielt würde [93].
- Das Sprachverstehen sei abhängig von der kognitiven Leistung und insbesondere des Arbeitsgedächtnisses, welches als Zwischenspeicher für Gesagtes gilt [39, 68, 69]. Kognitive Fähigkeiten und das Arbeitsgedächtnis würden das Sprachverstehen beeinflussen. Das Ergebnis des Verstehens mit Hörgeräten in Ruhe werde jedoch durch

diese beiden Einflussfaktoren nicht manipuliert. Im Störgeräusch könnten diese beiden Faktoren das Ergebnis der Verstehensmessung mehr beeinflussen, da das Arbeitsgedächtnis und die kognitiven Leistungen im Störschall einen größeren Einfluss auf die Ergebnisse haben als in Ruhe [64].

- Sowohl die Motivation als auch die Konzentration der Probanden würden die die Ergebnisse des FBE beeinflussen. Dies wurde bereits von Hahlbrock bei seiner Erstellung der Normkurve beobachtet [43]. Dies könne bei denselben Patienten zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, die nicht mit dem tatsächlichen Sprachverstehen und dem Hörverlust korrelieren.
- Die Test-Retest-Reliabilität gibt an, wie zuverlässig eine Messmethode bei erneuter Testung ist. Die Ergebnisse des FBE seien aufgrund der kurzen Listen mit nur 20 Einsilbigen Wörtern sehr kurz. Für den FBE könne nur dann ein 95 %-Konfidenzintervall eingehalten werden, wenn mindestens zwei Listen pro Schalldruckpegel gemessen werden [101]. Dies sieht die DIN EN ISO 8253-3 aktuell nicht so vor.
- Im Vergleich zum OSLA könne der Freiburger Einsilbertest nur mit deutschen Muttersprachlern durchgeführt werden. Matrixtests existieren im Gegensatz zum FBE bereits in zahlreichen Sprachen und können unabhängig von der Muttersprache des Untersuchers durchgeführt werden [59]. Ein geschlossenes Antwortformat mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten, aus denen jeweils die richtige Antwort ausgewählt werden muss, ermögliche die unabhängige Auswertung des Matrixtests auch einer anderen Sprache [14]. Allerdings setze dies eine ausreichende Lesefähigkeit voraus [106].
- Das Ziel einer Hörgeräteversorgung ist laut HilfsM-RL die Angleichung des Hörvermögens schwerhörender Patienten an das Hörvermögen otologisch gesunder, normalhörender Patienten [1]. Bisher könnten die Ergebnisse des FBE nur in Ruhe mit denen normalhörender Personen verglichen werden, da eine solche Normkurve für Untersuchungen des Freiburger Einsilbertest im Störschall mit Normalhörenden noch nicht erstellt wurde.

4.2 Stärken des Freiburger Einsilbertests

Jede Art von Testverfahren bietet gewisse Vor- und Nachteile, die es vor dem Einsatz abzuwägen gilt. In der HNO-Praxis und bei Hörgeräteakustikern wird der FBE trotz der genannten Kritik weiterhin als Sprachverstehenstest am häufigsten verwendet. Einige Kritikpunkte, wie z. B. die der behaupteten psychischen Hemmungen, bestimmte negativ

empfundene Wörter nachzusprechen, wurden bislang nicht in Studien überprüft. Andere der zuvor genannten Kritikpunkte, z. B. die Frage nach der perceptiven Äquivalenz der einzelnen Listen konnten nicht bestätigt werden, da verschiedene Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen gelangten [102]. Der FBE ist im Gegensatz zu anderen in der HilfsM-RL aufgelisteten Sprachhörtests kostengünstig, einfach und zuverlässig durchzuführen [7, 9, 101]. Für andere Sprachverstehentests, z. B. den GÖSA und den OLSA, müssen jeweils eine Nutzerlizenz zuzüglich einer Basislizenz erworben werden. Zusätzlich fallen erhebliche Kosten für eine interaktive Audiometrieanlage, die Installation der Software und den Service an [49, 50]. Der FBE ist ebenfalls für die adaptive Messung im Störschall geeignet, wie in einer aktuellen Studie von Memmeler et al. gezeigt wurde [73]. Untersucherinnen und Untersuchern steht es nach der Hilfsmittel-Richtlinie frei, welchen Test sie zur adaptiven Messung einsetzen. Ein Hörverlust, der mehr als 50 % beträgt, kann allerdings nicht mit adaptiv messenden Tests erfasst werden, da bei der adaptiven Messung der Sprachschallpegel erfasst wird, bei dem Patienten ein Verstehen von 50 % erzielen [73]. Erreichen sie diesen Wert nicht, kann von nun an auch der FBE-S als Alternative zur adaptiven Messung eingesetzt werden.

Die Messdauer des Freiburger Einsilbertests ist im Vergleich zur Messdauer des OLSA viel kürzer. Neubauer untersuchte 2011 im Rahmen einer Diplomarbeit den FBE im Vergleich zum OLSA. Bei Normalhörenden betrug die durchschnittliche Messdauer für den FBE 1 Minuten und 15 Sekunden und für den OLSA 3 Minuten und 53 Sekunden. Bei Schwerhörenden dauerten die Messungen des FBE 1 Minute und 19 Sekunden und des OLSA 4 Minuten und 16 Sekunden [80]. Bei zahlreichen Messungen im Alltag einer HNO-Praxis oder beim Hörgeräteakustiker kann durch Verwendung des FBE folglich signifikant Zeit eingespart werden, die an anderer Stelle für die Patientenversorgung sonst fehlen könnte.

4.3 Diskussion der Studienergebnisse

4.3.1 Alter der Probanden

Um eine Bezugskurve zu bestimmen, soll das Alter der Probanden gemäß DIN EN ISO 8253-3 zwischen 18 und 25 Jahren liegen [25]. In dieser Studie wurden 60 Probanden zwischen 18 und 31 Jahren eingeschlossen. Mittels t-Test für unabhängige Stichproben wurde untersucht, ob sich die Ergebnisse der Probanden von 18 bis 25 Jahren von den Ergebnissen der Probanden von 26 bis 31 Jahren signifikant unterscheiden. Ein solcher Unterschied konnte nicht festgestellt werden. Somit konnten alle 60 Probanden in die Auswertung zur Erstellung der Verstehenskurve miteingeschlossen werden.

4.3.2 Interindividuelle Unterschiede

Die interindividuellen Unterschiede der Messergebnisse sind bereits bei der ersten Erstellung einer Normkurve des FBEs in Ruhe sehr groß gewesen und Hahlbrock erklärte dies durch die unterschiedliche Motivation und Konzentrationsfähigkeit der Probanden [43]. Auch in dieser Studie mit normalhörenden Probanden streuten die interindividuellen Ergebnisse im niedrigen Schalldruckpegelbereich stark. Die größte Differenz der Ergebnisse wurde bei einem Schalldruckpegel von 30 dB Sprachschall und 25 dB Störschall erzielt und liegt zwischen 5 % und 80 % Verstehen.

Neuere Studien zeigen, dass nicht nur das Sprachverstehen, sondern auch die Lexikalisierung eine Rolle spielt und mithilfe von Sprachverstehentests nicht ausschließlich das Sprachverstehen getestet wird. Es haben noch einige andere Faktoren wie beispielsweise die neurokognitiven Fähigkeiten sowie die Sprachperzeption und das Arbeitsgedächtnis, welches als Zwischenspeicher bei der Sprachbearbeitung fungiert, einen wichtigen Einfluss auf die Ergebnisse [5, 39, 68, 69, 71, 83, 98].

4.3.3 95 %-Konfidenzintervall

Insbesondere im niedrigeren Schalldruckpegelbereich ist das Konfidenzintervall größer, da die gemessenen Werte für das Verstehen stark streuen. Im höheren Schalldruckpegelbereich wird das Konfidenzintervall kleiner, da die Probanden bei höherem Schalldruckpegel durchschnittlich ein besseres Verstehen erzielen.

4.4 Messbedingungen

4.4.1 Wahl des CCITT-Rauschens als Störgeräusch

Wir wählten in dieser Studie das CCITT-Rauschen als Störgeräusch, weil in einer früheren Studie gezeigt wurde, dass sich dieses zur Messung des FBE im Störschall anbietet [100]. Zudem ist dieses bereits auf der Festplatte der meisten Audiometer vorhanden. Alternativ hätten wir ebenfalls auch andere Störgeräusche, wie z.B. das Störgeräusch nach Fastl oder Döring auswählen können, da die HilfsM-RL, sowie die DIN EN ISO 8253-3 kein bestimmtes Störgeräusch vorschreiben [3, 25]. Winkler et al. zeigten, dass der Signal-Rausch-Abstand, der erforderlich ist, um im Median ein Sprachverstehen von 50 % zu erzielen, bei dem aus Sprachmaterial gewonnenen Störgeräusch höher ist als bei anderen Störgeräuschen wie beispielsweise dem CCITT-Rauschen. Insgesamt wurde gezeigt, dass sich das Sprachverstehen je nach Einsatz des Störgeräusches signifikant unterscheidet. Das verwendete Störgeräusch

muss folglich zwingend bei jeder Messung mit angegeben werden. Es wird derzeit kein Störgeräusch explizit empfohlen [1, 100].

4.4.2 Darbietung des Störgeräusches

Das CCITT-Rauschen wurde bei dieser Versuchsdurchführung kontinuierlich dargeboten, was im Gegensatz zu einer nicht kontinuierlichen Darbietung zu einem besseren Verstehen führt. Winkler et al. empfehlen die Messung des FBE-S zur Prüfung der Hörgeräteversorgung im kontinuierlichen Störschall, da die Software digitaler Hörgeräte aufgrund ihres Algorithmus ein Einschwingungsverhalten aufweisen und dies bei nicht kontinuierlicher Darbietung des Störschalls zu einem schlechteren Verstehen führt [100, 103].

4.4.3 Anordnung der Lautsprecher

In der DIN EN ISO 8253-3 soll als Lautsprecheranordnung für Messungen von Sprache im Störschall eine Kombination aus zwei Lautsprechern verwendet werden. Die Lautsprecher sind dabei rechts und links von den Probanden platziert. Der Störschall trifft in einem Winkel von 45° , der Sprachschall in einem Winkel von 0° auf die Probanden [25]. In dieser Studie wurde bewusst von der in der Norm empfohlenen Lautsprecheranordnung abgewichen, da sie bei den wenigsten Hörgeräteakustikern oder Arztpraxen zum Einsatz kommt [45]. In der von Winkler et al. vorgestellten Studie wurde der FBE-S mit einer alternativen Lautsprecheranordnung gemessen [103]. In ihrer Versuchsanordnung wurde der Nutzschall sowie der Störschall mit einem Einfallswinkel von 0° dargeboten (S0N0). Mit dieser ebenfalls von der DIN EN ISO 8253-3 abweichenden Lautsprecheranordnung (S0N0) führten Winkler et al. Messungen des FBE im Störschall durch [103]. In der Arbeit von Winkler et al. wurde der Störschall im Gegensatz zu unserer Studie im Schalldruckpegel nicht variiert, sondern betrug konstant 60 dB. Lediglich der Schalldruckpegel der Sprache wurde im Verhältnis zum Schalldruckpegel des Störschalls variiert. Die Messungen erfolgten bei einem SNR von -6, -3, 0, 3, 5 dB. Aufgrund des unterschiedlichen Studiendesigns lässt sich lediglich der Messpunkt bei 60 dB Störschall und 65 dB Sprachschalldruckpegel mit unseren Ergebnissen vergleichen. Der Median des Verstehens betrug bei Winkler et al. 82,5 % und in dieser Studie 90 %. Unter Berücksichtigung des 95 %-Konfidenzintervalls liegen unsere und deren Ergebnisse eng beieinander [101]. Bei Hörgeräteträgern könnten sich, aufgrund der Hörgeräteigenschaften, die Ergebnisse beider Messanordnungen unterscheiden. Die gerichteten Mikrofone der Hörgeräte könnten bei einer S0N0 Anordnung keine räumliche Trennung registrieren und der Hörgewinn deshalb schlechter ausfallen als bei einer S0N180 Darbietung der Signale.

Abhängig von der verwendeten Lautsprecheranordnung sollte die Evaluation der Messergebnisse mittels der entsprechenden Normkurve erfolgen. Desweiteren sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte innerhalb des 95 %-Konfidenzintervalls liegen. Hierzu ist laut Berechnungen von Winkler et al. die Messungen zweier Testlisten des FBE bei demselben Schalldruckpegel erforderlich [101].

4.4.4 Positionierung der Untersucher

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterscheiden sich außerdem hinsichtlich der Positionierung der Untersucher und bei der Übermittlung der verstandenen Wörter von den Ergebnissen von Winkler et al., die eine andere Position der Untersucher für die Durchführung der Messungen wählten [103]. Winkler et al. führten ihre Studie an zwei Standorten und unter unterschiedlichen Messbedingungen durch. An einem der beiden Standorte saßen die Untersucher im selben Raum seitlich hinter den Probanden und gaben die Antwort per Touchscreen ein. An dem anderen Standort saßen die Untersucher mit Blickkontakt vor den Probanden. Die nachgesprochenen Wörter der Probanden wurden mittels Mikrofons direkt auf die von den Untersuchern getragenen Kopfhörer weitergeleitet. In der hier vorgestellten Studie befanden sich die Untersucher ebenfalls mit Blickkontakt seitlich vor den Probanden und registrierten die Antworten direkt am Computer.

Die Ergebnisse der beiden Standorte unterschieden sich dabei signifikant. Trotz der festgestellten Unterschiede wurden die Messungen beider Orte zusammen ausgewertet und nicht getrennt, mit der Begründung, somit eine größere Stichprobe betrachten zu können. Diese Vorgehensweise entspricht nicht streng-wissenschaftlichen Kriterien, die auf diese Weise, generierten Ergebnisse der Studie von Winkler et al. müssen daher diesbezüglich kritisch betrachtet werden.

Aus den vorhergehenden Abschnitten zur Lautsprecheranordnung und zur Position des Untersuchers kann man schließen, dass bei der Prüfung des FBE-S stets die Messbedingungen inklusive Lautsprecheranordnung und Position der Untersucher angegeben werden müssen. Andernfalls ist es nicht möglich, die Ergebnisse mithilfe der zugehörigen Verstehenskurve zu interpretieren.

4.4.5 Perzeptive Äquivalenz der Testlisten

Aufgrund der nicht vorhandenen perzeptiven Äquivalenz bei der Messung ohne Störschall wurden in dieser Studie die Listen mit den Nummern 5, 11, 12 und 15 ausgeschlossen [8]. Bei der Durchführung unserer Studie war nicht klar, ob diese Listen im Störschall weiterhin nicht

verwendet werden sollten oder ob unter dieser Messbedingung eine perzeptive Äquivalenz der Listen im Störschall gegeben wäre. Winkler et al. schlossen in ihrer Untersuchung alle Testlisten mit ein und konnten zeigen, dass die Testlisten 5, 11 und 15 im Störschall im Vergleich zu den anderen Listen nicht wesentlich besser oder schlechter verstanden wurden. Lediglich die Liste 12 blieb auch im Störschall schwerer zu verstehen als die anderen Testlisten [103]. Wir hätten in unserem Versuchsaufbau ebenfalls diese vier Testlisten (5, 11, 12 und 15) miteinbeziehen können, um somit über mehr Testmaterial zu verfügen und darüber hinaus die Listen hinsichtlich ihrer perzeptiven Äquivalenz im Störschall prüfen zu können.

4.4.6 Auswahl der Probanden

Die DIN EN ISO 8253-3 gibt vor, dass zur Erstellung einer Normkurve Probanden im Alter von 18 bis 25 getestet werden sollen [25]. Im höheren Alter nimmt das Sprachverstehen insbesondere im Störschall ab, da im Alter auch zentrale Prozesse beeinträchtigt sind, die zum Sprachverstehen beitragen. Zu diesen zentralen Prozessen zählt auch das Arbeitsgedächtnis. Es nimmt eine wichtige Rolle bei der Filterung von Informationen ein und ist bei älteren Menschen häufig mit beeinträchtigt [72]. Ältere Patienten, die mit mehreren Schallquellen konfrontiert werden, haben Schwierigkeiten, die für sie relevanten Sprachanteile wahrzunehmen [39, 53]. Zur Erstellung einer weiteren, altersangepassten Normkurve könnte diese aus einem normalhörenden, otologisch gesunden Patientenkollektiv ermittelt werden. Mit einer solchen Normkurve könnte die Hörminderung auch im Vergleich zu gleichaltrigen Patienten ausgewertet werden. Das Sprachverstehen betrug in einer Studie von Hesse et al. 80 % bei Patienten zwischen 61 und 70 Jahren, 65 % bei Patienten zwischen 71 und 80 Jahren und 50 % bei Patienten über 80 Jahren [47]. Die erreichten Verstehenswerte wurden dabei gemittelt. Dies gibt allerdings schon einen Ausblick darauf, dass das Sprachverstehen bei älteren Probanden schlechter als bei jüngeren Probanden ist und sich die Rekrutierung von normalhörenden Probanden für eine solche Studie schwierig gestalten könnte, zumal nicht nur das Alter, sondern auch andere Parameter, z. B. systemische Vorerkrankungen, eine Rolle spielen könnten.

Die hier gewonnene Verstehenskurve des FBE-S ermöglicht es, zukünftig das Hörvermögen schwerhörender Probanden im Störschall zuverlässiger mit dem Normalhörender zu vergleichen.

4.5 Gründe für die Verwendung des FBE-S

Die Verstehenskurve lässt sich ohne größeren technischen Aufwand auch in die HNO-ärztliche Praxis übertragen. Gründe hierfür sind:

- Das CCITT-Rauschen befindet sich bereits auf Festplatte des Audiometers.
- Es können problemlos die bereits vorhandenen Lautsprecher der Hörkabine benutzt und angewählt werden, um die Messsituation mit einfallendem Störschall von 180° und dargebotenem Nutzschall im Winkel von 0° nachzubilden.
- Die Untersucher befinden sich im selben Raum wie die Patienten, sitzen diesen gegenüber und können die Mundbewegungen der Patienten sehen. Somit ist kein zusätzliches Mikrofon zur Schallübertragung oder Schallverstärkung in einen anderen Raum notwendig.
- Der FBE kann auch bei einem Verstehensverlust von mehr als 50 % durchgeführt werden [43].
- Beim FBE gibt es kaum Lerneffekte, die die Messergebnisse beeinflussen. Im Gegensatz dazu zeigt der OLSA einen Lerneffekt, der, selbst über Wochen, mehrere dB beträgt [2]. Hierdurch wird die oft behauptete, angebliche größere Genauigkeit des OLSA gegenüber dem FBE zunichte gemacht.
- Der konstante Signal-Rausch-Abstand von 5 dB über alle SPL hinweg ermöglicht es, die Messungen einfach einzustellen und das Verstehen bei einem beliebigen Schalldruckpegel zu messen.
- Mit den hier vorgestellten Ergebnissen kann das Sprachverstehen auch bei anderen Schalldruckpegeln als bei denen in der HilfsM-RL vorgegeben Schalldruckpegeln gemessen werden. Somit kann auch bei abweichenden Schalldruckpegeln, die von den in der HilfsM-RL vorgegebenen Schalldruckpegeln von 65 dB Sprachschalls und 60 dB Störschall abweichen, eine Einschätzung des Sprachverstehens der Patienten erfolgen.
- Es sollte auch möglich sein, den FBE-S mit der erstellten Verstehenskurven adaptiv zu verwenden. Dies müsste allerdings in einer weiteren Studie überprüft werden.

4.6 Fazit für die Praxis

Diese Studie ergänzt den FBE um eine Verstehenskurve im Störschall mit einem Signal-Rausch-Abstand von 5 dB und trägt somit zur Aktualisierung dieses seit Jahrzehnten verwendeten Sprachverstehenstests bei. Alle genannten Tests aus dieser Kategorie eignen sich zur Diagnostik einer Hörminderung und zur Überprüfung einer Versorgung mit Hörgeräten. Der FBE ist jedoch im Vergleich zu anderen Tests kostengünstiger und lässt sich mit weniger

Zeitbedarf durchführen. Weiterhin lässt sich der FBE auch bei einem Sprachverstehen von weniger als 50 % durchführen. Darüber hinaus ermöglicht der konstante Signal-Rausch-Abstand von 5 dB über alle SPL hinweg Messungen des Sprachverstehens bei beliebigen Sprachschallpegeln zwischen 15 dB und 90 dB. Schließlich gibt es beim FBE kaum Lerneffekte, die die Messergebnisse beeinflussen.

Somit könnten in kürzerer Zeit mehr Patienten hinsichtlich einer Hörminderung untersucht werden und die Hörgeräteverordnung und -anpassung schneller und weniger belastend für die Patienten durchgeführt werden. Die Verwendung des FBE und des FBE-S führen damit zu einer effizienteren Patientenversorgung.

5 Zusammenfassung

Fragestellung und Hintergrund: Bei der Versorgung von Schwerhörenden mit Hörgeräten kann man auf die Ton- und Sprachaudiometrie nicht verzichten. Dabei ist der Freiburger Einsilbertest im Störschall bei fest vorgegebenen Schalldruckpegeln der bisherige Standard. Eine Referenzkurve für die Nutzung des Freiburger Einsilbertests im Störschall bei variablen Schalldruckpegeln analog zum Freiburger Einsilbertest ohne Störschall war aber bis zur Durchführung dieser Studie noch nicht normiert.

Ziel dieser Dissertation war, eine Referenzkurve für den Freiburger Einsilbertest im Störschall zu ermitteln, die es ermöglicht, ihn bei variablem Sprachschallpegel und festem Signal-Rausch-Abstand von 5 dB SPL durchzuführen.

Material und Methoden: Zur Normierung des Freiburger Einsilbertests (FBE) wurden an 60 otologisch gesunden, normalhörenden Probanden jeweils 16 Listen des Freiburger Einsilbertests bei Schalldruckpegeln zwischen 15 dB und 90 dB Sprachschall und Störschall mit einem konstanten Signal-Rausch-Abstand von 5 dB gemessen. Der Schalldruckpegel (SPL) wurde jeweils pro Liste um 5 dB erhöht, damit jede der sechzehn Listen bei einem unterschiedlichen Schalldruckpegel gemessen werden konnte. Als Störgeräusch wurde ein kontinuierliches CCITT-Rauschen verwendet.

Ergebnisse: Es konnte eine Normkurve für den Freiburger Einsilbertest im Störschall erzeugt werden. Diese kann analog zum Freiburger Einsilbertest ohne Störschall von allen Anwendern (Fachärzten, Hörgeräteakustikern) eingesetzt werden. Der Einsatz dieser Normkurve beschränkt sich auf Messungen mit zwei Lautsprechern und minimiert daher den apparativen Aufwand. Der Einfallswinkel des Sprachschalls sollte 0° und der Einfallswinkel des Störschalls 180° betragen, womit die am meisten verwendete Lautsprecheranordnung ohne Umbauten weiterverwendet werden kann.

Schlussfolgerung: Diese neue Verstehenskurve ermöglicht den Einsatz des Freiburger Einsilbertests im Störschall (FBE-S) bei variablem Sprachschallpegel und konstantem Signal-Rausch-Abstand von 5 dB. Die Ergebnisse von schwerhörenden Patienten können mit denen von Normalhörenden verglichen werden und Schweregrade der Hörstörungen klassifiziert werden. Für den Erfolg einer Anpassung von aktuellen Hörgeräten mit Richtmikrofonen und Störschallunterdrückung kann der Behandlungserfolg durch einen Gewinn beim Verstehen im Störschall quantifiziert werden, so wie es in den aktuellen Hilfsmittelrichtlinien vorausgesetzt wird.

Die Ergebnisse der Arbeit wurden am 09.04.2020 zum Druck in der HNO (Springer Verlag, Heidelberg) angenommen:

Guy S, Schönweiler R, Wollenberg B, Zehlicke Th, Pohl M, Löhler J (2020) Die Verständlichkeitskurve für den Freiburger Einsilbertest im Störschall mit einem SNR von 5 dB. DOI: 10.1007/s00106-020-00874-5.

6 Literaturverzeichnis

1. https://www.g-ba.de/downloads/62-492-1922/HilfsM-RL_2017-07-20_iK_2019-09-13.pdf (Tag des Zugriffs: 15.11.2019)
2. https://www.hoertech.de/images/hoertech/pdf/mp/produkte/olsa/HT.OLSA_Handbuch_Rev01.0_mitUmschlag.pdf (Tag des Zugriffs: 28.03.2020)
3. https://www.g-ba.de/downloads/62-492-1666/HilfsM-RL_2018-07-19_iK-2018-10-03.pdf (Tag des Zugriffs: 15.11.2019)
4. https://www.g-ba.de/downloads/40-268-4059/2016-11-24_HilfsM-RL_Freiburger-Einsilbertest_TrG.pdf (Tag des Zugriffs: 15.11.2019)
5. Akeroyd MA: 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 Suppl 2: S53-71; 2008
6. Ambert-Dahan E, Laouénan C, Lebredonchel M, Borel S, Carillo C, Bouccara D, et al.: Evaluation of the impact of hearing loss in adults: Validation of a quality of life questionnaire. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 135(1): 25-31; 2018
7. Baljić I, Hoppe U: The Freiburg monosyllabic test put to the test. *HNO* 64(8): 538-539; 2016
8. Baljić I, Winkler A, Schmidt T, Holube I: Evaluation of the perceptual equivalence of test lists in the Freiburg monosyllabic speech test. *HNO* 64(8): 572-583; 2016
9. Bangert H: Probleme bei der Ermittlung des Diskriminationsverlustes nach dem Freiburger Sprachtest. *Audiol Akustik* 19:166-170; 1980
10. Bidelman GM, Howell M: Functional changes in inter- and intra-hemispheric cortical processing underlying degraded speech perception. *Neuroimage* 124(Pt A): 581-590; 2016
11. Bisdas S, Dost P, Iro H, Issing PR, Keck T, Klingmann C, et al.: Ohr. In: Reiß M (Hrsg.): *Facharztwissen HNO-Heilkunde: Differenzierte Diagnostik und Therapie*. 139-297, Springer, Berlin; 2009
12. Böhme G: Psychoakustische Grundlagen. In: Welzl-Müller K (Hrsg.): *Audiometrie : Hörprüfungen im Erwachsenen- und Kindesalter*. 5., vollst. überarb. und erg. Aufl., 37-45, Huber, Bern; 2005
13. Böhme G: Sprachaudiometrie. In: Welzl-Müller K (Hrsg.): *Audiometrie: Hörprüfungen im Erwachsenen- und Kindesalter*. 77-94, Huber, Bern; 2005
14. Brand T, Wagener KC: Characteristics, advantages, and limits of matrix tests. *HNO* 65(3): 182-188; 2017
15. Brand T, Wittkop T, Wagener K, Kollmeier B: Vergleich von Oldenburger Satztest und Freiburger Wörtertest als geschlossene Versionen. Tagungsband der 7. DGA Jahrestagung. http://www.uzh.ch/orl/dga2004/programm/wissprogramm/Brand__T.pdf (Tag des Zugriffs: 19.11.2019)
16. Bredberg G: Cellular pattern and nerve supply of the human organ of Corti. *Acta Otolaryngol: Suppl* 236:231+; 1968
17. Brinkmann K: Die Neuaufnahme der „Wörter für Gehörprüfung mit Sprache“. *Zeitschrift für Hörgeräte-Akustik* 13 (3); 1974
18. Cox RM, Alexander GC: The abbreviated profile of hearing aid benefit. *Ear Hear* 16(2): 176-186; 1995

19. Curhan G, Curhan S: Epidemiology of Hearing Impairment. In: Fay RR, Moore BCJ, Popelka GR, Popper AN (Hrsg.): Hearing Aids. 21-58; 2016
20. Diller G: Hörschädigung - Hörgeschädigte. In: Kießling J, Kollmeier B, Diller G (Hrsg.): Versorgung und Rehabilitation mit Hörgeräten. 2., vollständig überarbeitete Auflage, 151-161, Thieme, Stuttgart; 2008
21. DIN 45621-1:1995-08 Sprache für Gehörprüfung - Teil 1: Ein- und mehrsilbige Wörter. Beuth Verlag Berlin; 1995
22. DIN 45626-1:1995-08 Tonträger mit Sprache für Gehörprüfung - Teil 1: Tonträger mit Wörtern nach DIN 45621-1 (Aufnahme 1969). Beuth Verlag Berlin; 1995
23. DIN EN ISO 8253-1:2011-04 Akustik - Audiometrische Prüfverfahren - Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleitungs-Schwellenaudiometrie mit reinen Tönen (ISO 8253-1:2010); Deutsche Fassung EN ISO 8253-1:2010. Beuth Verlag Berlin; 2011
24. DIN EN ISO 8253-2:2010-07 Akustik - Audiometrische Prüfverfahren - Teil 2: Schallfeld-Audiometrie mit reinen Tönen und schmalbandigen Prüfsignalen (ISO 8253-2:2009); Deutsche Fassung EN ISO 8253-2:2009. Beuth Verlag Berlin; 2010
25. DIN EN ISO 8253-3:2012-08 Akustik - Audiometrische Prüfverfahren - Teil 3: Sprachaudiometrie (ISO 8253-3:2012); Deutsche Fassung EN ISO 8253-3:2012. Beuth Verlag Berlin; 2012
26. Doerfler C, Hocke T, Hast A, Hoppe U: Speech recognition with hearing aids for 10 standard audiograms. HNO (Epub ahead of print); 2019
27. Döring W, Hamacher V: Neue Sprachverständlichkeitstests in der Klinik: Aachener Logatomtest und Dreinsilber im Störschall. In: Kollmeier B (Hrsg.): Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. 137-168, Median-Verlag von Kilisch-Horn GmbH, Heidelberg; 1992
28. Dreschler WA, Verschuure H, Ludvigsen C, Westermann S: ICRA noises: artificial noise signals with speech-like spectral and temporal properties for hearing instrument assessment. International Collegium for Rehabilitative Audiology. Audiology 40(3): 148-157; 2001
29. Duthey B: Background Paper 6.21 Hearing loss. https://www.who.int/medicines/areas/priority_medicines/BP6_21Hearing.pdf (Tag des Zugriffs: 10.03.2019)
30. Egan JP: Articulation testing methods. Laryngoscope 58(9): 955-991; 1948
31. Eysholdt U: Grundlagen. In: Seidner W, Wendler J (Hrsg.): Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. 4., völlig überarb. Auflage, 3-65, Thieme, Stuttgart; 2005
32. Fant G: Analys av de svenska vokal- och konsonantljuden. LM Ericsson protokoll H/P 1064; 1948
33. Feldmann H: 200 years testing hearing disorders with speech, 50 years german speech audiometry -- a review. Laryngorhinootologie 83(11): 735-742; 2004
34. Festen JM, Plomp R: Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for impaired and normal hearing. J Acoust Soc Am 88(4): 1725-1736; 1990
35. Gates GA, Mills JH: Presbycusis. Lancet 366(9491): 1111-1120; 2005
36. Gelfand SA: Anatomy and Physiology of the Auditory System. In: Gelfand SA (Hrsg.): Essentials of Audiology. 4. Aufl., 37-90, Thieme, New York; 2016
37. Gelfand SA: Audiological Management of the Hearing Impaired. In: Gelfand SA (Hrsg.): Essentials of Audiology. 4. Aufl., 443-499, Thieme, New York; 2016

38. Gelfand SA: Speech Audiometry. In: Gelfand SA (Hrsg.): Essentials of audiology. 4. Aufl., 257-290, Thieme, New York; 2016
39. Getzmann S, Golob EJ, Wascher E: Focused and divided attention in a simulated cocktail-party situation: ERP evidence from younger and older adults. *Neurobiol Aging* 41: 138-149; 2016
40. Graydon K, Waterworth C, Miller H, Gunasekera H: Global burden of hearing impairment and ear disease. *J Laryngol Otol* 133(1): 18-25; 2019
41. Greenberg S, Ainsworth WA: Speech processing in the auditory system: An Overview. In: Ainsworth WA, Fay RR, Greenberg S, Popper AN (Hrsg.): Speech processing in the auditory system. 1-62, Springer, New York; 2004
42. Hagerman B: Sentences for testing speech intelligibility in noise. *Scand Audiol* 11(2): 79-87; 1982
43. Hahlbrock K-H: Sprachaudiometrie. In: Sprachaudiometrie: Grundlagen und praktische Anwendung einer Sprachaudiometrie für das deutsche Sprachgebiet. 2., neubearb. Aufl., 67-212, Thieme, Stuttgart; 1970
44. Hahlbrock KH: Speech audiometry and new word-tests. *Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd* 162(5): 394-431; 1953
45. Harten H: Qualitätsbewertung von binauralen Hörgeräteversorgungen — Vergleich und Bewertung der Prüfanordnung nach DIN EN ISO 8253-3 mit den in der Praxis gebräuchlichen Prüfanordnungen [Diplomarbeit]: Fachhochschule Lübeck; 2000
46. He Z-H, Li M, Zou S-Y, Liao F-L, Ding Y-Y, Su H-G, et al.: Protection and Prevention of Age-Related Hearing Loss. In: Li H, Chai R (Hrsg.): Hearing Loss: Mechanisms, Prevention and Cure. 59-71, Springer, Singapore; 2019
47. Hesse G: Hearing aids in the elderly. Why is the accommodation so difficult? *HNO* 52(4): 321-328; 2004
48. Holube I, Steffens T, Winkler A: Calibration of the Freiburg monosyllabic speech test. *HNO* 67(4): 304-305; 2019
49. HörTech gGmbH: Göttinger Satztest (GÖSA). Sprachaudiometrie mit Alltagssätzen. <https://www.hoertech.de/de/medizinprodukte/goesa.html> (Tag des Zugriffs: 15.11.2019)
50. HörTech gGmbH: Oldenburger Satztest (OLSA). Wiederholbare Sprachaudiometrie mit ganzen Sätzen. <https://www.hoertech.de/de/medizinprodukte/olsa.html> (Tag des Zugriffs: 15.11.2019)
51. Hoth S: The Freiburg speech intelligibility test : A pillar of speech audiometry in German-speaking countries. *HNO* 64(8): 540-548; 2016
52. Hoth S, Steffens T: Audiometrie - Die Untersuchung des Gehörs und seine technische Versorgung. In: Kramme R (Hrsg.): Medizintechnik: Verfahren - Systeme - Informationsverarbeitung. 207-267, Springer, Berlin; 2017
53. Humes LE, Dubno JR: Factors Affecting Speech Understanding in Older Adults. In: Fay RR, Frisina RD, Gordon-Salant S, Popper AN (Hrsg.): The Aging Auditory System. 211-258, Springer, New York; 2010
54. ITU-T Recommendation G.227: International analogue carrier systems - General characteristics common to all analogue carrier-transmission systems - Conventional telephone signal. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.227-198811-I/en> (Tag des Zugriffs: 16.03.2020)
55. Jiam NT, Li C, Agrawal Y: Hearing loss and falls: A systematic review and meta-analysis. *Laryngoscope* 126(11): 2587-2596; 2016

56. Keithley EM: Pathology and mechanisms of cochlear aging. *J Neurosci Res*; 2019
57. Kirsch J: Ohr- Hör- und Gleichgewichtsorgan. In: Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, et al. (Hrsg.): *Duale Reihe Anatomie*. 4., aktual. Auflage, 1074-1092, Thieme, Stuttgart; 2017
58. Klinke R: Hören und Sprechen: Kommunikation des Menschen. In: Pape H-C, Klinke R, Kurtz A, Silbernagl S (Hrsg.): *Physiologie*. 6., vollst. überarb. Aufl., 676-695, Thieme, Stuttgart; 2010
59. Kollmeier B: Overcoming language barriers: Matrix sentence tests with closed speech corpora. *Int J Audiol* 54 Suppl 2: 1-2; 2015
60. Kollmeier B, Warzybok A, Hochmuth S, Zokoll MA, Uslar V, Brand T, et al.: The multilingual matrix test: Principles, applications, and comparison across languages: A review. *Int J Audiol* 54 Suppl 2: 3-16; 2015
61. Kompis M: Reintonaudiometrie. In: Kompis M (Hrsg.): *Audiologie*. 3., vollst. überarb. Aufl., 37-70, Huber, Bern; 2013
62. Kompis M: Sprachaudiometrie. In: Kompis M (Hrsg.): *Audiometrie*. 97-126, Huber, Bern; 2013
63. Kompis M, Krebs M, Hausler R: Verification of normative values for the Swiss version of the Freiburg speech intelligibility test. *HNO* 54(6): 445-450; 2006
64. Kronlachner M, Baumann U, Stover T, Weissgerber T: Investigation of the quality of hearing aid provision in seniors considering cognitive functions. *Laryngorhinootologie* 97(12): 852-859; 2018
65. Kurz A, Grubenbecher M, Rak K, Hagen R, Kuhn H: The impact of etiology and duration of deafness on speech perception outcomes in SSD patients. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 276(12): 3317-3325; 2019
66. Launer S, Zakis JA, Moore BCJ: Hearing Aid Signal Processing. In: Popelka GR, Moore BCJ, Fay RR, Popper AN (Hrsg.): *Hearing Aids*. 93-130, Springer; ASA Press, Cham; 2016
67. Leonhardt A: Jugend- und Erwachsenenalter. In: Leonhardt A (Hrsg.): *Grundwissen Hörgeschädigtenpädagogik*. 4., vollständig überarbeitete Auflage, 204-216, Ernst Reinhardt Verlag, München; 2019
68. Lin FR, Ferrucci L, An Y, Goh JO, Doshi J, Metter EJ, et al.: Association of hearing impairment with brain volume changes in older adults. *Neuroimage* 90: 84-92; 2014
69. Lin FR, Yaffe K, Xia J, Xue QL, Harris TB, Purchase-Helzner E, et al.: Hearing loss and cognitive decline in older adults. *JAMA Intern Med* 173(4): 293-299; 2013
70. Lohler J, Wollenberg B, Schonweiler R: APHAB scores for individual assessment of the benefit of hearing aid fitting. *Hno* 65(11): 901-909; 2017
71. Meister H: Speech audiometry, speech perception and cognitive functions. German version. *HNO* 65(3): 189-194; 2017
72. Meister H, Schreitmüller S, Grugel L, Landwehr M, von Wedel H, Walger M, et al.: Examination of speech perception and cognitive functioning in the elderly. *HNO* 59(7): 689-695; 2011
73. Memmeler T, Schönweiler R, Wollenberg B, Löhler J: The adaptive Freiburg monosyllabic test in noise : Development of a procedure and comparison of the results with the Oldenburg sentence test. *HNO* 67(2): 118-125; 2019

74. Moore BCJ, Popelka GR: Introduction to Hearing Aids. In: Fay RR, Moore BCJ, Popelka GR, Popper AN (Hrsg.): Hearing Aids. 1-20, Springer; ASA Press, Cham; 2016
75. Moser T, Grabner CP, Schmitz F: Sensory Processing at Ribbon Synapses in the Retina and the Cochlea. *Physiol Rev* 100(1): 103-144; 2020
76. Moser T, Starr A: Auditory neuropathy--neural and synaptic mechanisms. *Nat Rev Neurol* 12(3): 135-149; 2016
77. Mrowinski D: Akustische Grundlagen. In: Mrowinski D, Scholz G (Hrsg.): Audiometrie. 10-16, Thieme, Stuttgart; 2011
78. Mrowinski D: Tonschwellenaudiometrie. In: Scholz G (Hrsg.): Audiometrie. 21-26, Thieme, Stuttgart; 2011
79. Mulrow CD, Tuley MR, Aguilar C: Sustained benefits of hearing aids. *J Speech Hear Res* 35(6): 1402-1405; 1992
80. Neubauer R, Trapp M: Untersuchung verschiedener Sprachtestverfahren im Störgeräusch hinsichtlich der Vergleichbarkeit für die Hörsystemversorgung sowie hinsichtlich Handhabbarkeit, Durchführung und Praktikabilität im Prozess der Hörsystemanpassung [Diplomarbeit]: Europäische Union der Hörgeräteakustiker e. V., Mainz; 2011
81. Plath P: New recording of the Freiburg speech discrimination test. *HNO* 19(9): 282-284; 1971
82. Plath P, Doerr L: Comparative speech audiometry studies with compact disk. *Laryngorhinootologie* 71(10): 530-533; 1992
83. Ptok M, Kiessling J: Speech perception. The basis for speech audiometry examinations. *HNO* 52(9): 824-830; 2004
84. Ruben RJ: Redefining the survival of the fittest: communication disorders in the 21st century. *Laryngoscope* 110(2 Pt 1): 241-245; 2000
85. Sarant J, Harris D, Busby P, Maruff P, Schembri A, Lemke U, et al.: The Effect of Hearing Aid Use on Cognition in Older Adults: Can We Delay Decline or Even Improve Cognitive Function? *J Clin Med* 9(1); 2020
86. Schmiedt RA: The Physiology of Cochlear Presbycusis. In: Gordon-Salant S, Frisina RD, Popper AN, Fay RR (Hrsg.): The aging auditory system. 9-38, Springer-Verlag, New York, NY; 2010
87. Schulze A, Zahnert T: Differential diagnosis of hearing disorders. *Laryngorhinootologie* 93(10): 689-715; 2014
88. Smoorenburg GF: Speech reception in quiet and in noisy conditions by individuals with noise-induced hearing loss in relation to their tone audiogram. *J Acoust Soc Am* 91(1): 421-437; 1992
89. Souza P: Speech Perception and Hearing Aids. In: Popelka GR, Moore BCJ, Fay RR, Popper AN (Hrsg.): Hearing Aids. 151-180, Springer; ASA Press, Cham; 2016
90. Steffens T: Die „Sprachbanane“ repräsentiert nicht die normallaute Sprache. *Sprache Stimme Gehör* 40(3): 105; 2016
91. Steffens T: Use of Freiburg monosyllabic test words in the contemporary German language: Currentness of the test words. *HNO* 64(8): 549-556; 2016
92. Steffens T: Zur korrekten Umrechnung von Sprachsignalen für deren Darstellung im Tonaudiogramm. *Z Audiol* 55(4): 138-145; 2016

93. Thiele C, Wardenga N, Lenarz T, Buchner A: Testing the comparability of free-field and HDA200 headphone measurements for the Freiburg speech test. *HNO* 62(2): 115-120; 2014
94. von Gablenz P, Hoffmann E, Holube I: Prevalence of hearing loss in Northern and Southern Germany. *HNO* 65 Suppl 2: 130-135; 2017
95. WESTRA ELEKTROAKUSTIK GmbH: Audiologische Tests für Erwachsene. Binswangen. <https://www.westra.de/hoerdiagnostik/audiologische-tests-fuer-erwachsene/> (Tag des Zugriffs: 15.11.2019)
96. WHO: Deafness and hearing loss - fact sheet. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss> (Tag des Zugriffs: 10.03.2019)
97. WHO: Grades of hearing impairment. https://www.who.int/pbd/deafness/hearing_impairment_grades/en/ (Tag des Zugriffs: 09.03.2019)
98. Winkler A, Carroll R, Holube I: Impact of Lexical Parameters and Audibility on the Recognition of the Freiburg Monosyllabic Speech Test. *Ear and Hearing* 41(1): 136-142; 2020
99. Winkler A, Holube I: Einfluss des Störgeräusches auf das Sprachverstehen von Einsilbern. *Zeitschrift für Audiologie* 57(4):138-147; 2018
100. Winkler A, Holube I: Einfluss des Störgeräusches auf das Sprachverstehen von Einsilbern. *Zeitschrift für Audiologie* 57(4): 138-147; 2018
101. Winkler A, Holube I: Test-retest reliability of the Freiburg monosyllabic speech test. *HNO* 64(8): 564-571; 2016
102. Winkler A, Holube I: Was wissen wir über den Freiburger Sprachtest? *Zeitschrift für Audiologie (Audiological Acoustics)* 53: 146-154; 2014
103. Winkler A, Holube I, Husstedt H: The Freiburg monosyllabic speech test in noise. *HNO* (Epub ahead of print); 2019
104. Wu PZ, Liberman LD, Bennett K, de Gruttola V, O'Malley JT, Liberman MC: Primary Neural Degeneration in the Human Cochlea: Evidence for Hidden Hearing Loss in the Aging Ear. *Neuroscience* 407: 8-20; 2019
105. Zahnert T: The differential diagnosis of hearing loss. *Dtsch Arztebl Int* 108(25): 433-443; quiz 444; 2011
106. Zokoll MA, Fidan D, Türkyılmaz D, Hochmuth S, Ergenç İ, Sennaroğlu G, et al.: Development and evaluation of the Turkish matrix sentence test. *Int J Audiol* 54 Suppl 2: 51-61; 2015

7 Anhang

7.1 Wichtige Begriffe und Definitionen der Audiometrie

Audiogramm	„Graphische oder tabellarische Darstellung der unter definierten Bedingungen und nach einem festgelegten Verfahren bestimmten Hörschwellenpegel in Abhängigkeit von der Frequenz für beide Ohren des Probanden“ [23]
Differenz zwischen Sprach- und Störgeräusch-Pegel = Sprach-Störgeräusch-Verhältnis SNR (engl.: speech-to-noise-ratio)	„Differenz zwischen Sprachpegel und Zusatzschallpegeln“ [25]
Diskrimination = Sprachverstehen	Prozentsatz der richtig wiedergegebenen Wörter (Verhältnis der Anzahl richtig wiederholter Wörter zur Gesamtzahl der gehörten Wörter) [13]
Diskriminationsfunktion	Sprachverstehen in Prozent als Funktion des Sprachpegels
Diskriminationsverlust	Differenz zwischen dem maximalen Verstehen und dem höchstens erzielten Verstehen eines Patienten
Freifeld = freies Schallfeld	„ein Schallfeld, bei dem die Grenzflächen des Raumes einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Schallwellen haben“ [24]
Hörschwelle	„geringster Schalldruckpegel oder geringster Pegel einer periodischen Kraft, bei dem eine Person bei wiederholten Darbietungen unter festgelegten Bedingungen in einem vorher festgelegten Prozentsatz der Fälle die Wahrnehmung des dargebotenen Schallsignals richtig angibt“ [23]
Hörverlustkurve	Die einzelnen Messpunkte im Tonschwellenaudiogramm werden mit Linien verbunden und ergeben somit eine

	Kurve, aus der abgelesen kann, wie groß der Hörverlust ist. Bestimmte Krankheitsbilder haben jeweils charakteristische Kurvenverläufe [78].
Knochenleitung	„Schallübertragung zum Innenohr, die in erster Linie durch mechanische Schwingungen der Schädelknochen erfolgt“ [23]
Luftleitung	„Schallübertragung durch das Außen- und Mittelohr zum Innenohr“ [23]
Maximales Einsilberverstehen (mEV)	Erwartungswert einer Hörgeräteversorgung bei 65 dB Eingangspegel; gleichzeitig auch maximales Einsilberverstehen ohne Hörgeräte [3]
Maximales Sprachverstehen	„das maximal erreichbare Sprachverstehen, unabhängig vom Sprachpegel, für eine gegebene Versuchsperson, für ein bestimmtes Sprachmaterial und für eine bestimmte Art der Signaldarbietung“ [25]
Sprachmaterial	die Gesamtmenge der Test-Elemente, aus denen der Sprachverstehenstest besteht [25]
Sprachsignal	„akustisches Signal, das Informationen in einer bestimmten Sprache beinhaltet“ [24]
Sprachverstehen	„die prozentuale Angabe der richtig erkannten Test-Elemente - oder der anrechenbaren Elemente, wenn das Verfahren nicht auf vollständigen Test-Elementen beruht - für eine gegebene Versuchsperson, für ein bestimmtes Sprachmaterial, für eine bestimmte Art der Signaldarbietung und bei einem definierten Sprachpegel“ [25]

Tabelle 6: Wichtige Begriffe und Definitionen der Audiometrie wörtlich übernommen aus: [3, 12, 23, 24, 61, 78].

7.2 Probandenaufklärung



UNIVERSITÄTSKLINIKUM Schleswig-Holstein
Campus Lübeck · Ratzeburger Allee 160 · D-23538 Lübeck

UNIVERSITÄTSKLINIKUM
Schleswig-Holstein



Campus Lübeck

Sektion für Phoniatrie und Pädaudiologie
(in der HNO-Klinik) und

Hörzentrum Lübeck

Ansprechpartner:

Ärztlicher Leiter Prof. Dr. med. Rainer Schönweiler

Tel.: +49-(0)451 - 500 - 42101

Fax: +49-(0)451 - 500 - 42104

E-Mail: phoniatrie@uksh.de, rainer.schoenweiler@uksh.de

Internet: www.uksh.de/phoniatrie-luebeck
www.uksh.de/hoerzentrum-luebeck

Datum: 02.04.2018

Aufklärung der Probanden

für die „Studie zur Aktualisierung des Freiburger Einsilbertests“

Sehr geehrte/r Teilnehmer,

Worum geht es in der Studie?

Es geht darum, einen seit vielen Jahrzehnten verwendeten Hörtest zu verbessern. Dieser Test heißt „Freiburger Einsilbertest“ und wird normalerweise mit Patienten in der ruhigen Umgebung einer Audiometrikabine oder in einem Audiometrieräum durchgeführt. Viele schwerhörende Patienten haben allerdings erst dann Probleme, Gesprochenes zu verstehen, wenn Nebengeräusche (Störgeräusche) auftreten, wie sie beispielsweise in einem Restaurant auftreten, während sie Gesprächspartner verstehen wollen. Bisher wurde der Freiburger Einsilbertest eingesetzt, um das Sprachverstehen in ruhiger Umgebung zu messen. Das Ziel der Studie ist es, den Freiburger Einsilbertest auch bei Neben- bzw. Störgeräuschen (=Störschall) durchführen und auswerten zu können. Dafür müssen neue Normalwerte ermittelt werden.

Wie läuft die Studie ab?

Der Aufwand beträgt einmalig etwa 60 Minuten. In einem ersten kurzen Hörtest wird überprüft, ob Sie ein normales Gehör haben, indem Sie über einen Kopfhörer unterschiedliche Töne hören und einen Knopf drücken, sobald Sie diese wahrgenommen haben. Wenn dieser Test zu schlecht ausfällt, brauchen Sie nicht weiter an der Studie teilzunehmen.

Der zweite Teil ermittelt Ihre Verstehen von einsilbigen Wörtern im Störschall.ist geht in eigentliche Studie ein. Ihnen werden über Lautsprecher verschiedene einsilbige Wörter vorgespielt, die sie nachsprechen sollen. Der Untersucher notiert ihre Antworten und klassifiziert sie als „richtig“ oder „falsch“. Wird beispielsweise das Wort „Baum“ abgespielt und sie sprechen „Raum“ nach, wird dies als falsche Antwort gewertet. Das Ergebnis ist für Sie unerheblich und wird Ihnen nicht mitgeteilt.

Besteht ein Risiko bei dieser Untersuchung?

Nein. Sie müssen sich lediglich eine Stunde Zeit für uns nehmen und sich in diesem Zeitraum auf den das Verstehen der Wörter konzentrieren. Die verwendeten Lautstärkepegel liegen alle weit unterhalb gehörschädigender Werte (d.h. unterhalb 85 dB).

Wird die Studienteilnahme vergütet?

Nein. Die Studienteilnahme kann leider nicht vergütet werden, weil keine wirtschaftlichen Interessen verfolgt werden. Ihre Ergebnisse werden nicht „vermarktet“, sondern unentgeltlich in Fachzeitschriften veröffentlicht, die allen Ärzten, Audiologen und Hörgeräteakustikern zugänglich sein werden.

Kommen Sie für eine Studienteilnahme infrage?

Ja, wenn

- sie älter als 18 Jahre alt sind
- sich für circa eine Stunde durchgehend konzentrieren können
- normal hören (dies wird vor Beginn der Sprachaudiometrie überprüft)

8 Danksagung

Ich bedanke mich an allererster Stelle bei meinem Betreuer und Doktorvater **Priv.-Doz. Dr. med. Jan Löhler**, der mich mit seiner Begeisterung nicht nur für die Audiometrie, sondern auch für die HNO als Fach begeistern konnte, so dass ich ein großartiges Tertiäl des Praktischen Jahres in der Hals- Nasen- Ohrenheilkunde am Bundeswehrkrankenhaus verbracht habe. Eine bessere Betreuung hätte ich mir weder vorstellen noch wünschen können.

Bei Herrn **Prof. Dr. med. Schönweiler** bedanke ich mich herzlich für das Überlassen der Arbeit und für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik.

Herrn **Dr. Pinnschmidt** vom Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf danke ich für die statistische Beratung und die kurzweilige Einführung in SPSS im Rahmen meines Studiums an der Universität Hamburg.

Meinen Dank möchte ich auch Herrn **Flottenarzt Dr. Pohl** und Herrn **Flottillenarzt Prof. Dr. Dr. Zehlicke** und der gesamten Abteilung der **Hals- Nasen- Ohrenheilkunde im Bundeswehrkrankenhaus in Hamburg** aussprechen. Ich konnte dort im Rahmen meines Wahltertials spannende Einblicke in die HNO gewinnen, Probanden rekrutieren, die Messungen durchführen und für einige Monate Teil eines großartigen Teams werden.

Gitte Möller danke ich für die großartige Einarbeitung in die Audiometrie. Für ihre Literaturtipps zur aktuellen Fachliteratur und ihre Geduld mit der sie meine zahlreichen Fragen stets freundlich und kompetent beantwortete. Den Großteil der Patienten, der letztendlich an meinen Versuchen teilgenommen hat, hatte Gitte zuvor untersucht, auf diese Studie angesprochen und gebeten sich bei mir zu melden. Die schnelle Durchführung der Versuche gelang letztendlich durch die höchst effektive Patientenrekrutierung von Gitte.

Außerdem danke ich den zahlreichen **Probanden**, die geduldig und gewissenhaft an den Versuchen teilgenommen haben. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Für die Korrektur meiner Arbeit danke ich **Theresa Hülsmann, Katrin Quaeck, Vera Köhl** und **Rosi Scharbach-Guy**.

Nicht Zuletzt möchte ich meiner Familie **Rosi, Karl-Heinz** und **Jonas** sowie meinen Freunden danken, dass sie mir für ein Projekt Zeit gaben, das viel länger dauerte als je zu erwarten war. Ich möchte mich dafür bedanken, dass sie mich bei all meinen Vorhaben stets unterstützt haben und ich mich in jeder Situation auf sie verlassen kann.