

Aus der Hals-, Nasen-, Ohren-Klinik und Poliklinik - Plastische Operationen
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Die Entwicklung des HINT-Satztests mit weiblicher Sprecherin und sein Vergleich zu
Testverfahren mit männlichen Sprechern

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Anna-Lena Mönnich
aus Witzenhausen

Mainz, 2023

Tag der Promotion:

28. März 2024

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	II
TABELLENVERZEICHNIS	IV
1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2 HINTERGRÜNDE UND LITERATURDISKUSSION	5
2.1 Grundbegriffe der Akustik, Psychoakustik und Sprachaudiometrie	5
2.2 Hörphysiologie	7
2.3 Testverfahren der Sprachaudiometrie	8
2.4 Das Cochlea Implantat	17
2.4.1 Aufbau und Funktion	17
2.4.2 Verarbeitung von Schallsignalen	18
2.5 Grundlagen der Stimmbildung	20
3 MATERIAL UND METHODEN	22
3.1 Probanden und Probandinnen	22
3.1.1 Normalhörende Probanden und Probandinnen	22
3.1.2 Probanden und Probandinnen mit Cochlea Implantat	22
3.2 Studienräumlichkeiten und akustische Geräte	23
3.3 Durchgeführte Messungen	25
3.3.1 Tonschwellaudiometrie	25
3.3.2 Oldenburger Satztest	25
3.3.3 Hearing in Noise Test	27
3.4 Dokumentation, statistische und phonetische Auswertung	33
4 ERGEBNISSE	35
4.1 Probandenkollektiv	35
4.2 Phonetischer Vergleich zwischen den beiden HINT-Sprechern	36
4.3 Ergebnisse der sprachaudiometrischen Tests, normalhörende Probanden und Probandinnen	41
4.3.1 HINT	41
4.3.1.1 Performance-Intensitäts-Funktion	41
4.3.1.2 Normwerte	43
4.3.2 OLSA	52
4.3.3 Vergleich der SRT von weiblichem und männlichem HINT mit dem OLSA	54
4.4 Ergebnisse der sprachaudiometrischen Tests, Probanden und Probandinnen mit Cochlea Implantat	56
4.4.1 HINT	56

4.4.2	OLSA	59
4.4.3	Vergleich der SRT von weiblichem-, männlichem HINT mit dem OLSA und dem Freiburger Sprachtest	60
5	DISKUSSION	63
5.1	Entwicklung des HINT mit weiblicher Sprecherin	63
5.2	Gegenüberstellung der Testmethodik von HINT und OLSA.....	64
5.2.1	Ausblick	68
5.3	Beurteilung der Ergebnisse	70
5.3.1	Normalhörende Probanden und Probandinnen	70
5.3.2	Cochlea Implantat-Träger und -Trägerinnen	74
5.3.3	Auswertung des Lerneffekts bei HINT und OLSA	76
5.4	Interpretation der Ergebnisse	78
5.4.1	Bewertung des Probandenkollektivs.....	78
5.4.2	Analyse sprecherspezifischer Parameter sowie Eigenschaften und deren Einfluss auf die Sprachverständlichkeit	80
5.5	Sprachverständlichkeit mit Cochlea Implantat.....	89
6	ZUSAMMENFASSUNG	93
7	LITERATURVERZEICHNIS	V
8	ANHANG	XI
8.1	Satzlisten des HINT	XI
8.2	Protokoll zum Matching (Graeco-Latin-Square-Design) des weiblichen und männlichen HINT, Normalhörende Probanden und Probandinnen	XIV
8.3	Studienprotokoll der Probanden und Probandinnen mit Cochlea Implantat.....	XV
8.4	Tonaudiogramm	XVIII
8.4.1	Probandenkollektiv, der Messungen zur Generierung der PI-Funktion für den HINT mit weiblicher Sprecherin (n = 10).....	XVIII
8.4.2	Probandenkollektiv der Evaluationsmessungen des HINT mit weiblicher Sprecherin, männlichem Sprecher und des OLSA (n = 24)	XVIII
8.5	Aufblähkurve des Probandenkollektiv mit Cochlea Implantat (n = 13)	XIX
8.6	Ergänzende SRT-Werte der NH-Probanden und -Probandinnen	XIX
8.7	Übersicht der Probanden und Probandinnen mit Cochlea Implantat	XX

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AEMT	American English Matrix Test
ANOVA	Analysis of Variance, Varianzanalyse
bzw.	beziehungsweise
CI	Cochlea Implantat
dB	Dezibel
EAS	elektrisch-akustische Stimulation
F0	Grundfrequenz
FN	Formantfrequenz
HG	Hörgerät
HINT	Hearing in Noise Test
HNO	Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
HP	Headphone = Kopfhörer
HSM-Satztest	Satztest nach Hochmair-Desoyer, Schulz und Moser
Hz	Hertz
ICRA	International Collegium of Rehabilitative Audiology
kHz	Kilohertz
max.	maximal
min	Minute
min.	minimal
MW	Mittelwert
n	Anzahl
NCS	Noise Composite Score
NF	Noise Front = Hintergrundrauschen von vorne
NH	Normalhörende(r) Proband(en), Normalhörende Probandin(nen)
NL	Noise Left = Hintergrundrauschen von links
NR	Noise Right = Hintergrundrauschen von rechts
OLSA	Oldenburger Satztest
p	Signifikanzwert
PI-Funktion	Performance-Intensitäts-Funktion
Q	Quiet = ohne Hintergrundrauschen
SD	Standardabweichung
SF	Soundfield = Freifeld
SNR	Signal-to-Noise-Ratio, Signal-Rausch-Abstand
SPL	Sound Pressure Level, Schalldruckpegel
SRT	Speech Reception Threshold, Sprachverständlichkeitsschwelle
STARR	Sentence Test with Adaptive Randomized Roving Levels

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1, schematische Darstellung der Bestandteile eines Cochlea Implantats.....	17
Abbildung 2, Anordnung der akustischen Geräte im Studienraum	24
Abbildung 3, Darstellung des Ergebnisprotokolls des OLSA	26
Abbildung 4, Blick von oben auf die Anordnung der Schallquellen (Sound und Noise) der Testkonditionen a. bis f. im Studiendesign.....	30
Abbildung 5, Boxplot des mittleren F0-Bereichs [Hz] getrennt nach dem Geschlecht des Sprechers	37
Abbildung 6, weibliche Sprecherin: Analyse der Formanten F1 und F2 [kHz] von je 12 Ausführungen der Vokale /a:/, /u:/ und /i:/	38
Abbildung 7, männlicher Sprecher: Analyse der Formanten F1 und F2 [kHz] von je 12 Ausführungen der Vokale /a:/, /u:/ und /i:/	38
Abbildung 8, Vokaldreieck der Formanten F1 und F2 [kHz] der Vokale /a:/, /u:/ und /i:/ der beiden HINT-Sprecher	39
Abbildung 9, Boxplot der mittleren Sprechgeschwindigkeit in Silben/ min getrennt nach dem Geschlecht des Sprechers	40
Abbildung 10, lineare PI-Funktion des HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher.....	41
Abbildung 11, polynomiale PI-Funktion des HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher.....	41
Abbildung 12, Darstellung der linearen Funktion des z-Scores getrennt für den weiblichen und männlichen HINT (Verständlichkeit [%] gegenüber SNR [dB])	42
Abbildung 13, Boxplot der SRT [dB SNR] für die Konditionen NF Test und den errechneten Noise Composite Score getrennt nach dem Geschlecht des Sprechers	44
Abbildung 14, Boxplot der SRT [dB] für die Konditionen in Ruhe mit Kopfhörern (HP) und im Freifeld (SF) getrennt nach dem Geschlecht des Sprechers	44
Abbildung 15, Boxplot der SRT [dB SNR] der NF Trainings- und Testkondition des HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher	46
Abbildung 16, Balkendiagramm der erzielten SRT [dB SNR] der einzelnen Probanden der Kondition NF (Test) beim männlichen HINT, dargestellt als Abweichung vom arithmetischen Mittelwert aller Probanden	49
Abbildung 17, Darstellung der Werte für die Kondition Noise Front für den weiblichen und männlichen deutschsprachigen HINT sowie den amerikanisch-englischen HINT	51
Abbildung 18, Darstellung des Noise-Composite Scores für den weiblichen und männlichen deutschsprachigen HINT sowie den amerikanisch-englischen HINT.....	51
Abbildung 19, Boxplot der SRT [dB SNR] der beiden OLSA Konditionen	52

Abbildung 20, Streudiagramm mit Ausgleichsgrade der Korrelation der SRT [dB SNR] der HINT Kondition NF und des Noise Composite Score getrennt für die weibliche Sprecherin und den männlichen Sprecher	55
Abbildung 21, Boxplot der SRT [dB SNR] für die Konditionen Training, Test und Testwiederholung getrennt nach dem Geschlecht des HINT-Sprechers	56
Abbildung 22, Boxplot der Sprachverständlichkeitsschwelle [dB SNR] der ersten HINT-Messung eines jeden Probanden getrennt nach dem Geschlecht des Sprechers.....	58
Abbildung 23, Boxplot der SRT [dB SNR] der beiden OLSA Konditionen	59
Abbildung 24, Streudiagramm mit Ausgleichsgrade der Korrelation der Sprachverständlichkeit [dB SNR] von weiblichem HINT, männlichem HINT und dem OLSA.....	61
Abbildung 25, Boxplot der SRT [dB SNR] der Testkonditionen beim HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher sowie beim OLSA getrennt nach dem Geschlecht der Probanden.....	62

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1, Überblick einer Auswahl an sprachaudiometrischen Testverfahren	10
Tabelle 2, Materialien und Geräte zur Aufnahme und Bearbeitung der Testsätze	23
Tabelle 3, Materialien zur Kalibrierung der Lautsprecher und Kopfhörer.....	24
Tabelle 4, beispielhaftes Testprotokoll zur Validierung der Normdaten des HINT mit weiblicher Sprecherin sowie für die Vergleichsmessung mit dem HINT mit männlichem Sprecher und dem OLSA	31
Tabelle 5, Mittelwert mit SD der Grundfrequenz (F_0), Mittelwert der minimalen und maximalen Grundfrequenz ($F_{0\min}$ und $F_{0\max}$) sowie des Grundfrequenz-Bereichs (F_0 -Bereich) der beiden HINT-Sprecher.....	36
Tabelle 6, Mittelwerte der Formanten F1 und F2 der drei Vokalausführungen /a:/, /u:/ und /i:/ der beiden HINT-Sprecher	37
Tabelle 7, Mittelwerte der Vokalraumfläche, des F1- und F2-Bereichs sowie der Differenz $F_2 - F_1$ der Vokale /a:/ und /i:/ beider HINT-Sprecher.....	39
Tabelle 8, SRT [dB SNR] bzw. [dB] der verschiedenen Konditionen und des NCS beim HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher	43
Tabelle 9, SRT [dB SNR] bzw. [dB] der ersten sechs HINT-Messungen und des NCS eines jeden Probanden getrennt nach dem Geschlecht der Probanden und der Sprecher ..	47
Tabelle 10, Vergleich der Mittelwerte der SRT [dB SNR] bzw. [dB] der verschiedenen Konditionen des weiblichen und männlichen HINT dieser Studie mit den Normwerten von Joiko (Joiko et al. 2019).....	48
Tabelle 11, Perzentilen und H-Score des deutschsprachigen HINT mit weiblicher Sprecherin	50
Tabelle 12, Sprachverständlichkeitsschwelle [dB SNR] der beiden OLSA Konditionen	52
Tabelle 13, SRT der beiden OLSA Messungen [dB SNR] getrennt nach dem Geschlecht der Probanden.....	53
Tabelle 14, Sprachverständlichkeitsschwelle [dB SNR] bzw. [dB] der verschiedenen Konditionen beim HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher	56
Tabelle 15, Sprachverständlichkeitsschwelle [dB SNR] der beiden OLSA Konditionen	59
Tabelle 16, SRT des HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher, des OLSA und des Freiburger Sprachtest (Wörter) getrennt nach dem Geschlecht der CI-Probanden.....	61
Tabelle 17, SRT [dB SNR] bzw. [dB] der ersten sechs HINT-Messungen und des NCS eines jeden Probanden in Abhängigkeit vom Geschlecht des HINT-Sprechers.....	XIX

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Sprache ist eines der wichtigsten Kommunikationsmittel des Menschen. Erst bei Einschränkungen der Verständlichkeit von Sprache wird den meisten Menschen ihr hoher Stellenwert in unserem alltäglichen Leben bewusst.

Wichtiges Kriterium für die Verständlichkeit von Sprache ist die akustische Fähigkeit des Hörorgans, Schallsignale wahrzunehmen und diese über die Hörbahn zur zentralen Verarbeitung im Gehirn weiterzuleiten.

Im klinischen Alltag stellt die Audiometrie das wesentliche Diagnostikum zur Überprüfung der Eigenschaften und Parameter des Gehörs dar. Tonschwellaudiometrische Verfahren eignen sich zur Überprüfung des Hörvermögens und zur Diagnostik von Hörstörungen. Der komplexe Vorgang der Verständlichkeit von Sprache kann durch sie nicht abgebildet werden. Diese Aufgabe übernimmt die Sprachaudiometrie.

National und international sind unzählige Testverfahren der Sprachaudiometrie validiert und etabliert worden. Als wichtige deutschsprachige Testverfahren sind der Freiburger Sprachtest (Hahlbrock, 1953), der Göttinger Satztest (Kollmeier und Wesselkamp, 1997) und als Matrixtest, der Oldenburger Satztest (OLSA) (Wagener, Brand, Kollmeier und Kühnel, 1999) zu nennen. International ist der Hearing in Noise Test (HINT) (Nilsson, Soli und Sullivan, 1994) als Satztestverfahren hervorzuheben. In der folgenden Arbeit wird explizit nur auf Testverfahren, welche mit Beginn des Schulalters (die Einsatzmöglichkeit des HINT ist ab 6 Jahren) verwendet werden können, eingegangen.

Sprachaudiometrische Tests setzen sich aus verschiedenen Variablen, wie beispielsweise Testitems, Testmethode und Störgeräusch zusammen. Genannte Variablen sowie Vor- und Nachteile einiger Testverfahren werden im Verlauf der Arbeit näher erläutert. Sprachverständlichkeitstests bestehend aus grammatikalisch korrekten Sätzen sowie durchgeführt im Störgeräusch haben einen entscheidenden Vorteil gegenüber Testverfahren mit einzelnen Wörtern und unter Ruhebedingungen, in dem sie die alltägliche Kommunikationsumgebung realistischer darstellen.

Eine weitere, wichtige Variable der Testverfahren der Sprachaudiometrie umfasst die Wahl des Sprechers der aufgezeichneten Testitems und spezifisch sein Geschlecht. Akeroyd et al. erstellten 2015 im Namen des International Collegium of Rehabilitative

Audiology (ICRA) Empfehlungen für die Konstruktion multilingualer Sprachverständlichkeitstests. Demnach sollte der gewählte Sprecher eine natürliche Aussprache haben, über einen neutralen Akzent verfügen, die Stimmgebung über einen längeren Zeitraum konstant halten können, ungeübt im Einsprechen von Sprachmaterial sein und als Grundlage dieser Arbeit zu sehen, weiblichen Geschlechts sein.

Die weibliche Stimme wird laut Akeroyd et al. als „akustischer Kompromiss“ zwischen den Frequenzen männlicher und kindlicher Stimmen eingeordnet. Sie sollte daher bei der Generierung neuer sprachaudiometrischer Testverfahren verwendet werden (Akeroyd et al., 2015).

Die eingangs erwähnten deutschsprachigen Testverfahren und der HINT sind standardisiert und normiert. Ihr Sprecher ist männlichen Geschlechts.

In der Literatur sind auch Testverfahren mit weiblicher Sprecherin, beispielsweise der deutschsprachige Zweisilber-Reimtest im Störgeräusch von Kliem und Kollmeier (1994), die Einsilbertests von Hazan und Markham (2004) oder Kiliç und Ogüt (2004) oder der Satztest in Ruhe von Bradlow et al. (1996) zu finden. Ihre Testvariablen sind jedoch individuell sehr unterschiedlich. Standardisierte Normwerte sind nicht vorhanden.

Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung und Validierung eines standardisierten Sprachverständlichkeitstests mit weiblicher Sprecherin in deutscher Sprache.

Als Grundbaustein wurde der HINT gewählt. Er ist international standardisiert und wurde bislang in 24 Sprachen entwickelt und evaluiert. Der deutschsprachige HINT mit männlichem Sprecher wurde 2019 von Joiko ebenfalls an der Universitätsmedizin Mainz entwickelt und mit normalhörenden Probanden und Probandinnen (NH) evaluiert (Joiko, 2019, Joiko et al., 2020). Es bestand daher ein direkter Zugang zur Software und Methodik des männlichen HINT, sodass analog der Studie von Larsby et al. für den schwedischen HINT, ein direkter Vergleich des neu evaluierten HINT mit weiblicher Sprecherin mit dem HINT mit männlichem Sprecher durchgeführt werden kann (Larsby et al., 2015).

In der Literatur ist eine Vielzahl an Studien verschiedener sprachaudiometrischer Testverfahren vorhanden (beispielsweise bereits genannte Studien von Bradlow et al. (1996), Hazan und Markham (2004) und Kiliç und Ogüt (2004)), in denen der Ein-

fluss unterschiedlicher Sprecher bzw. Sprecherinnen und deren akustisch-phonetischer Eigenschaften auf die Sprachverständlichkeit analysiert und diskutiert wurde. Auch in der bereits erwähnten Studie zum schwedischen HINT mit normalhörenden und schwerhörigen Probanden und Probandinnen von Larsby et. al. wurde der Einfluss des Geschlechts des Sprechers auf die Sprachverständlichkeit untersucht (Larsby et al., 2015).

Im deutschsprachigen Raum wurde bislang nur für den OLSA im Rahmen einer Bachelorarbeit von Ahrlich zur Evaluation des OLSA mit einer weiblichen Sprecherin eine derartige Analyse durchgeführt (Ahrlich, 2013). Dabei wurden die beiden Studien zum OLSA (männlicher Sprecher von Wagener, Brand, Kollmeier und Kühnel, 1999 und weibliche Sprecherin von Ahrlich, 2013) mit unterschiedlichen Probandenkollektiven durchgeführt. In der nachfolgenden Arbeit erfolgt die Gegenüberstellung der beiden HINT-Verfahren und ihrer Sprecher mit dem gleichen Probandenkollektiv.

Im zweiten Teil der Arbeit wird der Empfehlung von Akeroyd et al., eines Vergleichs der Ergebnisse des neu evaluierten Testverfahrens, mit einem gängigen klinischen Testverfahren, hier mit dem OLSA, nachgegangen (Akeroyd et al., 2015).

Auch der zunehmende technische Fortschritt von Hörgeräten und Cochlea Implantaten (CI), erfordert komplexe Testverfahren. Klinisch werden, im Rahmen postoperativer Anpassungs- und Optimierungsprozesse der Sprachprozessorprogramme der CI-Geräte, bevorzugt Sprachverständlichkeitstestverfahren verwendet. In die nachfolgende Studie werden daher neben den normalhörenden Probanden und Probandinnen zur Validierung der Normwerte auch Cochlea Implantat-Träger und -Trägerinnen eingeschlossen.

Bislang gibt es kaum publizierte Studien im deutschsprachigen Raum mit CI-Trägern und -Trägerinnen, in welchen mittels eines standardisierten Sprachmaterials der Einflussfaktor des Geschlechts des Sprechers und seiner phonetischen Eigenschaften auf die Sprachverständlichkeit untersucht wurde. Auch dieser Fragestellung soll in der folgenden Arbeit nachgegangen werden.

Zusammenfassend stellt sich der Aufbau und die Zielsetzung der Arbeit folgendermaßen dar:

Einführend erfolgt in Kapitel 2 eine kurze Darstellung akustischer und physiologischer Grundlagen. Es wird weiter auf klinisch relevante sprachaudiometrische Testverfahren und Hintergründe der Verarbeitung von Schallsignalen mit Cochlea Implantat eingegangen. In Kapitel 3 werden die Materialien und Methoden zur Erstellung und Validierung des HINT mit weiblicher Sprecherin, sowie die Testverfahren OLSA und HINT näher erläutert. Die Darstellung der generierten Normdaten des HINT mit weiblicher Sprecherin, inklusive der vergleichenden Gegenüberstellung mit den erzielten Sprachverständlichkeitswerten beim HINT mit männlichem Sprecher, sowie beim OLSA, beider Probandenkollektive (auch getrennt nach deren Geschlechtern) erfolgt in Kapitel 4. Ausgehend von der Analyse testmethodischer, sprecher- und geschlechtsspezifischer Einflussfaktoren der drei Testverfahren auf die Sprachverständlichkeit von normalhörenden Probanden und Probandinnen und CI-Trägern und -Trägerinnen, findet in Kapitel 5 eine kritische Diskussion statt. Abschließend erfolgt in Kapitel 6 eine Zusammenfassung der Arbeit.

Anmerkung: Die Reihenfolge und Aufzählung der gewählten Geschlechter wurde willkürlich gewählt und beinhaltet keinesfalls eine Wertung. Zur besseren Lesbarkeit wurde an einigen Stellen das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und diverse Geschlechter werden kontextbezogen impliziert.

2 HINTERGRÜNDE UND LITERATURDISKUSSION

2.1 Grundbegriffe der Akustik, Psychoakustik und Sprachaudiometrie

Die Psychoakustik beschreibt die Zusammenhänge zwischen akustischen Reizen und die durch sie ausgelösten Empfindungen. Tonschwell- und Sprachaudiometrie gehören zu den subjektiven Messverfahren der Psychoakustik und befassen sich mit der Empfindung und Wahrnehmung von Schallsignalen (Hoth und Steffens, 2016, Zwicker und Fastl, 2006).

Der hochkomplexe Vorgang der Wahrnehmung und Verständlichkeit von Sprache wird als Sprachperzeption bezeichnet. Von Bedeutung ist das Zusammenspiel sensorischer, perzeptiver und kognitiver Fähigkeiten (Ptok und Kiessling, 2004).

Bei sprachaudiometrischen Testverfahren wird die akustische Verständlichkeit von Testitems ermittelt. Diese sollen erkannt und wiedergegeben werden. Die Überprüfung der inhaltlichen Komponente, der Bedeutung und dem Sinngehalt der Testitems wird dem Sprachverstehen beziehungsweise Sprachverständnis zugeordnet (Meister, 2017). Sprachverständlichkeit und Sprachverstehen stehen nach Best et al. im Zusammenhang (Best et al., 2016).

Während das Hörorgan physiologisch Frequenzen von etwa 20 bis 20.000 Hertz (Hz) wahrnimmt, überträgt ein Cochlea Implantat Frequenzen von circa 100 bis 8.500 Hz. Die objektiv messbare Frequenz kann als subjektives Korrelat der Tonhöhe beschrieben werden. Das Frequenzspektrum des Hauptsprachbereichs liegt zwischen 100 und 7.000 Hz. Der zugehörige Dynamikbereich des Hauptsprachbereichs liegt zwischen 20 und 70 Dezibel (dB) Schalldruckpegel (SPL) (Zwicker und Fastl, 2006, Kießling et al., 2017, Zenner, 2011).

Sprachsignale treten in der alltäglichen Umgebung selten als alleinige Schallreize auf. Häufig werden sie von Störgeräuschen wie beispielsweise Verkehrslärm, Nebengesprächen oder Umgebungsgeräuschen begleitet. Viele sprachaudiometrische Testverfahren werden daher im Störgeräusch, simuliert durch ein Hintergrundrauschen, durchgeführt (näheres siehe Kapitel 2.3).

Zielvariable der Sprachaudiometrie im Störgeräusch ist die Sprachverständlichkeitsschwelle, im Englischen Speech Reception Threshold (SRT) genannt. Sie stellt den

Signal-Rausch-Abstand, im Englischen Signal-to-Noise-Ratio dar, bei welchem ein Testitem zu einem bestimmten Anteil vom Untersuchten richtig wiedergegeben wird. Wird die SRT anhand der 50 %-Verständlichkeit der Testitems bestimmt, wird sie auch L_{50} genannt. Der Signal-Rausch-Abstand beschreibt die Differenz zwischen dem Schalldruckpegel des Sprach- und Störsignals an der Sprachverständlichkeitsschwelle:

$$SRT_{SNR} = \text{Schalldruckpegel}_{\text{Testitem}} - \text{Schalldruckpegel}_{\text{Rauschen}} [\text{dB}]$$

Beispielsweise ergibt sich bei einem Störsignalpegel vom 65 dB und einem Sprachsignalpegel von 70 dB eine SNR von 5 dB. Der Schalldruckpegel des Sprachsignals ist im Vergleich zum Störsignal zu einem höheren Pegel verschoben. Erreicht der Untersuchte eine 50 %-Verständlichkeit bei einem Sprachsignalpegel, welcher niedriger im Vergleich zum Pegel des Störsignals ist, ergibt sich eine SRT mit einer negativen SNR. Eine SRT mit einer negativen SNR geht demzufolge mit einer besseren Sprachverständlichkeit im Störgeräusch einher. Je größer dabei die Differenz von Stör- zum Sprachsignalpegel, desto schwieriger ist das gesprochene Testitem zu verstehen.

Die SRT wird typischerweise mit adaptiver Pegelsteuerung ermittelt. Dabei wird der Schalldruckpegel des Sprach- oder des Störsignals, je nach Anzahl der richtig wiedergegebenen Testitems, für die nachfolgenden Testitems angepasst. Werden beispielsweise mehr als 50 % der Testitems korrekt verstanden, werden die folgenden Testitems mit einem geringeren Schalldruckpegel präsentiert, liegt die Verständlichkeit unter 50 %, wird dieser erhöht (Brand und Kollmeier, 2002, Brand und Kollmeier, 1996).

Die psychometrische Diskriminationsfunktion (auch Performance-Intensitäts-Funktion) stellt den Zusammenhang der prozentualen Testitem-Verständlichkeit in Abhängigkeit von verschiedenen Schalldruckpegeln bzw. SNR dar. Je größer die Steigung der PI-Funktion, desto exakter kann die Sprachverständlichkeitsschwelle ermittelt werden und desto sensibler das Testverfahren zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit. Falls auch bei sehr hohen Schalldruckpegeln keine Sprachverständlichkeit von 100 % erreicht wird, kann mittels der PI-Funktion der Diskriminationsverlust bestimmt werden (Kollmeier, 1992, Kießling et al., 2017, Hoth und Steffens, 2016).

2.2 Hörphysiologie

Das menschliche Gehör ist als Sinnesorgan für die Kommunikation mit der Umwelt, für die Sprache sowie die Orientierung im Raum von großer Bedeutung.

Akustische Signale in Form von Schallwellen werden im Außenohr aufgenommen und über das Mittelohr zum Innenohr geleitet. Innerhalb der Cochlea des Innenohrs befindet sich das Corti'sche Organ mit den äußeren und inneren Haarzellen. Die letzteren genannten stellen den Ort der mechanoelektrischen Transduktion dar.

Die Cochlea wird durch Reissner- und Basilarmembran in die perilymphhaltige Scala vestibuli und Scala tympani sowie den endolymphgefüllten Ductus cochlearis unterteilt. Die Schallwelle setzt sich als Druckschwankung über die Membran des ovalen Fensters auf die Perilymphe der Scala vestibuli fort. Im Verlauf wird das gesamte Corti-Organ in wellenförmige Bewegung versetzt. Die entstehenden Scherkräfte führen zu einer tangentiellen Verschiebung der Stereozilien der Haarzellen. Dies stellt den adäquaten Reiz der Transduktion dar. Der folgende Ioneneinstrom führt über die Membrandepolarisation zu einem Rezeptorpotential, welches nach Ausschüttung des Neurotransmitters Glutamat ein Aktionspotential am afferenten Neuron der Hörnervenfaser auslöst (Lenarz und Boenninghaus, 2012, Zenner, 2011).

Die hydrodynamische Theorie nach von Békésy bildet die Grundlage der Tonotopie (Frequenz-Ortsprinzip) des Innenohres (Von Békésy und Wever, 1960).

Der Amplitudenverlauf der Wanderwelle nimmt, aufgrund von veränderten anatomischen und mechanischen Beschaffenheiten des Corti-Organ, ausgehend von der Cochleabasis bis zum Bereich auf der Basilarmembran, der seine Resonanzfrequenz darstellt zu, bevor er abrupt abfällt. Es kommt zur Dispersion, zur räumlichen Trennung der Frequenzen. Hohe Frequenzen werden an der Cochleabasis, tiefe Frequenzen an ihrer Spitze, repräsentiert.

Durch aktive Längenänderung der äußeren Haarzellen wird die Amplitude der Wanderwelle zusätzlich verstärkt. Das Frequenzselektionsvermögen und die Empfindlichkeit des Gehörs werden damit weiter gesteigert. Über die Tonotopie ist jede Frequenz nicht nur an eine bestimmte Haarzelle gekoppelt, sondern auch als Bestfrequenz einer bestimmten Hörnervenfaser zugeordnet (Lenarz und Boenninghaus, 2012, Gelfand, 2017, Zenner, 2011).

Bei hochfrequenten Schallsignalen erfolgt zusätzlich eine zeitliche Codierung (Periodizitätstheorie). Die Frequenz wird über die Periodizität des Schallsignals in Form der

Reizimpulsrate direkt an die Entladungsrate der Nervenfaser gekoppelt (Lenarz und Boenninghaus, 2012, Zenner, 2011).

Die Höhe des Schalldruckpegels wird über die Entladungsrate der erzeugten Aktionspotentiale codiert. Mit steigendem Schalldruckpegel nimmt die Entladungsrate zu. Wird ein Sättigungsbereich erreicht, werden zusätzlich benachbarte Nervenfasern rekrutiert. Folge ist eine Minderung der Frequenzselektivität und Einschränkung des örtlichen Auflösungsvermögens (Zenner, 2011, Lenarz und Boenninghaus, 2012, Gelfand, 2017).

Das elektrische Signal wird entlang der Hörbahn zum primär auditorischen Cortex weitergeleitet. Durch mehrfaches Kreuzen der Hörbahn zur Gegenseite und die zunehmende Spezialisierung der Neurone wird die Analyse komplexer akustischer Erkennungsmuster, wie der Sprache, ermöglicht. Vor allem bei der Verarbeitung von Schallsignalen im Störgeräusch sowie beim Richtungshören ist die Analyse von Amplitudenmodulation sowie von Laufzeit-, Frequenz- und Intensitätsunterschieden über die binaurale Interaktion von Bedeutung.

Einen wichtigen Beitrag zur Verarbeitung von Sprachsignalen leistet weiter das Zusammenspiel von sekundärer Hörrinde, sensorischem Sprachzentrum und den Assoziationsfeldern des Kortex (Zenner, 2011, Lenarz und Boenninghaus, 2012, Kießling et al., 2017, Gelfand, 2017).

2.3 Testverfahren der Sprachaudiometrie

Der Stellenwert der Sprachaudiometrie im Rahmen der Validierung von Einschränkungen der Sprachverständlichkeit, wird durch die Vielzahl der, in der Literatur beschriebenen sprachaudiometrischen Testverfahren, unterstrichen.

Neben der Diagnostik und Begutachtung von Hörstörungen stellt die Überprüfung des Hörvermögens, im Rahmen der Anpassung und Versorgung von Hörgeräten, einen wichtigen Einsatzbereich dar (Kollmeier, 1992).

Sprachaudiometrische Testverfahren unterscheiden sich entsprechend der Zusammenstellung der nachfolgenden Variablen:

Variable	Ausführung
Testitem	Zahl, Einsilber, Mehrsilber, Wort oder Satz
Sinngehalt der Testitems	sinnhaft oder sinnfrei
Antwortmethodik	offenes oder geschlossenes Testverfahren
Durchführbarkeit	manuell, automatisiert oder computergesteuert
Pegelsteuerung	konstant oder adaptiv
Ankündigungsreiz	Vorhandensein und Eigenschaften
Sprecher	Geschlecht: weiblich oder männlich Alter stimmliche Ausbildung: geschult oder ungeschult Stimmcharakteristik akustisch-phonetische Eigenschaften
Störgeräusch	Vorhandensein Spektrum Eigenschaften räumliche Anordnung
Zielwert	Sprachverständlichkeitsschwelle (L_{50})

Die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten der Variablen, je nach Testanforderung und Zielsetzung, führt zu einer Vielfalt an unterschiedlichen sprachaudiometrischen Testverfahren. Ob dennoch eine Vergleichbarkeit der Methodik und Ergebnisse gegeben ist, wird im folgenden Kapitel erläutert und abschließend in Kapitel 5 diskutiert.

In Tabelle 1 wird, mit Ausnahme des Freiburger Sprachtest aufgrund seiner klinischen Relevanz, ausschließlich auf deutschsprachige Satztestverfahren (beim HINT wird zusätzlich auf die amerikanische Fassung Bezug genommen), welche mit Beginn des Schulalters eingesetzt werden können, eingegangen.

Tests in Ruhe und mit Einsilbern eignen sich zur Bestimmung des Hörvermögens und zur Ermittlung der PI-Funktion, während mittels Satztestverfahren die SRT im Störschall bestimmt werden kann (Kießling, 2000).

Zusätzlich kann durch die räumliche Trennung von Sprach- und Störsignal der Vorteil des binauralen Hörens mithilfe der Interaural Time Difference (ITD) und der Binaural Intelligibility Level Difference (BILD) bzw. Interaural Level Difference (ILD) für das Sprachverständnis ermittelt werden. Genannte Parameter können zur Indikationsstellung einer beidseitigen Hörgeräteversorgung genutzt werden (Hawley et al., 2004, Kießling et al., 2017).

Tabelle 1, Überblick einer Auswahl an sprachaudiometrischen Testverfahren

Testverfahren	Autor (en) (Jahr)	Testitem	Beispielitem	Störgeräusch
Freiburger Sprachtest (Hahlbrock, 1953)	Hahlbrock (1953)	20 Listen mit je 20 einsilbigen Wörtern bzw. 10 Listen mit je 10 zweistelligen Zahlen	„Blatt“, „Stift“, „zweiundzwanzig“, „siebenundfünfzig“	keine standardisierten Störschallbedingungen vorhanden (aufgrund der Komplexität des Prozesses der Rauschunterdrückung bei kurzer Wortdauer der Einsilber konnte keine Einigung erzielt werden) (Löhler et al., 2013, Kießling et al., 2017, Müller-Deile, 2009)
Göttinger Satztest (Kollmeier und Wesselkamp, 1997)	Kollmeier und Wesselkamp (1997)	20 Listen mit je 10 Sätzen je 3 bis 7 Wörter bei ausgeglichener Silbenlänge und Wörteranzahl pro Liste	„Das Haus hat keinen Garten.“	gleiches Langzeitspektrum von Stör- und Sprachsignal (das Rauschen wurde durch Überlagerung des Sprachmaterial eines Einsilber-Reimtest des gleichen Sprechers generiert) (Wagener und Kollmeier, 2004)
OLSA (Wagener et al., 1999c, Wagener et al., 1999b, Wagener et al., 1999a)	Wagener, Brand, Kollmeier und Kühnel (1999)	20 Listen je 20 bzw. 30 Sätze bestehend aus je 5 Wörtern	„Britta schenkt vier schwere Dosen.“	OLSA Rauschen (gleiches Langzeitspektrum von Stör- und Sprachsignal)
HINT (Nilsson et al., 1994, Joiko et al., 2020)	Nilsson, Soli und Sullivan (1994) bzw. Joiko (2019)	25 Listen je 10 Sätze je 6 bis 7 Silben bzw. 12 Listen je 20 Sätze je 6 bis 8 Silben	„Die Kinder waren im Wald.“	das Störgeräusch entspricht dem durchschnittlichen Langzeitspektrum des Sprachmaterials

Im deutschsprachigen Raum legte der im Jahr 1953 entwickelte Freiburger Sprachtest von Hahlbrock die Grundlage vieler Testverfahren der Sprachaudiometrie (Hahlbrock, 1953, Kießling, 2000).

Kritiker bezeichnen sein Sprachmaterial allerdings als überartikulierte und nicht mehr zeitgemäß. Etwa 45 % der Einsilber (beispielsweise „Hohn“ oder „Dung“) werden in der heutigen Alltagssprache kaum noch verwendet (Steffens, 2016, Hoth, 2016, Kießling, 2000). Zusätzlich spiegeln Einsilber und Zahlen sowie seine validierte Durchführbarkeit ausschließlich unter Ruhekondition die alltägliche sprachliche Kommunikation schlechter, im Vergleich zu Satztestverfahren und Störschallbedingungen, wider (Hoth, 2016, Kießling, 2000). Auch zeigten Studien mit Normalhörenden, Schwerhörigen und CI-Trägern einen nicht äquivalenten Schwierigkeitsgrad der verwendeten Testlisten (Baljić et al., 2016, Bangert, 1980, Müller-Deile, 2009). Aufgrund der Verwendung von nur 20 Einsilbern pro Liste wird eine geringe Messgenauigkeit und Reliabilität erzielt (Winkler und Holube, 2016, Kießling, 2000).

Bei CI-Trägern kann der Freiburger Zahlentest nur zur orientierenden Hörschwellbestimmung sowie zur Reevaluation der gewählten Einstellung der Sprachprozessoren genutzt werden. Oft wird bereits bei der Erstanpassung ein Deckeneffekt von 100 % Verständlichkeit zwischen 60 und 85 dB erzielt (Müller-Deile, 2009).

Trotz genannter Kritik ist der Freiburger Sprachtest aufgrund seiner langwierigen Erfahrungswerte und seiner Standardisierung in der DIN 45621-1 der am häufigsten klinisch angewandte sprachaudiometrische Test der Hördiagnostik (DIN 45621-1:1995-08, 1995). Er ist fester Bestandteil der Richtlinie über die Verordnung von Hilfsmitteln und damit Teil des HG-Indikations- und Anpassungsprozess. Zusätzlich ist er von Bedeutung bei der Begutachtung und Bewertung einer Minderung der Erwerbsfähigkeit (Hoth, 2016, Kießling, 2000, Gemeinsamer Bundesausschuss, 2018).

Beim Göttinger Satztest wird die schnelle und etwas undeutliche Sprechgeschwindigkeit (279 ± 38 Silben/min) kritisiert. Vor allem bei Schwerhörigen und CI-Trägern können die Messergebnisse durch die genannten Faktoren nachteilig beeinflusst werden (Müller-Deile, 2009, Wagener und Kollmeier, 2004, Brand und Wagener, 2017). Auch die hohe Redundanz einiger Testsätze, die zu einer unausgeglichene Satzverständlichkeit und verminderten Messgenauigkeit führt, wird kritisiert. Meist wird pro Satz nur die Verständlichkeit von zwei der fünf angebotenen Testitems getestet (Kollmeier und Wesselkamp, 1997, Wagener et al., 1999a, Müller-Deile, 2009). Die einzelnen

Testlisten des Göttinger Satztest gelten als äquivalent. Dennoch besteht aufgrund der geringen Listenanzahl die Problematik, dass bei einer hohen Anzahl an Testdurchgängen, welche im Rahmen des HG-Anpassungsprozesses oftmals notwendig sind, einzelne Testlisten mehrfach verwendet werden müssen. Der nachfolgende Lerneffekt durch Wiedererkennung einzelner Sätze und Listen kann die Messergebnisse beeinflussen. Verstärkt wird dies durch die semantische Vorhersagbarkeit der Sätze (Wagener und Kollmeier, 2004).

Trotz der beschriebenen Kritik wird der Göttinger Satztest neben dem Freiburger Sprachtest in der Hilfsmittel-Richtlinie berücksichtigt (Gemeinsamer Bundesausschuss, 2018).

Die beiden, speziell für Träger eines Cochlea Implantats entwickelten Sprachtests, der HSM-Satztest von Hochmair-Desoyer, Schulz und Moser und der Innsbrucker Satztest nach von Wallenberg, werden zur Vollständigkeit erwähnt. Sie kommen klinisch wenig zur Anwendung.

Beim HSM-Satztest werden starke Schwankung des Schwierigkeitsgrades der einzelnen Sätze, die unzureichende Möglichkeit zur adaptiven Messung, eine recht flache PI-Funktion (Steigung von 6,78 % pro dB bei L_{50}) und der erhebliche Lerneffekt kritisiert. Auch die Verwendung des international standardisierten CCITT-Rauschens und damit eines nicht sprecherspezifischen Rauschens wird bemängelt. Vorteile des HSM-Satztests sind seine langsame und klare Aussprache, sowie sein großer Umfang von 30 Listen je 20 Sätze (Müller-Deile, 2009, Brand und Wagener, 2017, Hochmair-Desoyer et al., 1997).

Der Innsbrucker Satztest wird durch eine sehr langsame Sprechgeschwindigkeit (121 ± 18 Silben/min) sowie sehr gedehnte und überartikulierte Aussprache seiner geschulten Sprecherin charakterisiert. Er wird vereinzelt in der ersten Phase nach CI-Versorgung bei Patienten mit einer sehr flachen Lernkurve der Sprachverständlichkeit angewandt (Müller-Deile, 2009).

In den letzten Jahren hat die Sprachaudiometrie im Störgeräusch, allen voran der Oldenburger Satztest (OLSA), an Bedeutung gewonnen. Er ist an den Matrixtest in schwedischer Sprache von Hagerman angelehnt und besteht aus zehn Sätzen à fünf Wörter (Hagerman, 1982). Der OLSA garantiert durch randomisierte Auswahl der Testitems eine hohe Anzahl (n) unterschiedlicher Satzkombinationen ($n = 10^5$), so-

dass er beliebig oft wiederholt werden kann. Die Listen gelten als äquivalent. Sie setzen sich aus grammatikalisch korrekten Sätzen, mit dem immer gleichen Satzaufbau (*Name Verb Zahlwort Adjektiv Objekt*) zusammen. Die Sätze sind semantisch nicht vorhersagbar und verfügen teilweise über einen verminderten Sinngehalt (Beispielsatz: „Britta-bekommt-vier-nasse-Autos.“). Die geringe Redundanz minimiert den Einflussfaktor der Wiedererkennung der Sätze bei erneuter Testdurchführung. Dies führt, im Vergleich zum Freiburger Sprachtest, zu einer höheren Anzahl statistisch unabhängiger Satzteile.

Die mittlere Sprechgeschwindigkeit seines männlichen Sprechers beträgt 233 ± 27 Silben/min (Wagener et al., 1999a).

Der OLSA kann mit festen Pegeln oder einer adaptiven Pegelsteuerung durchgeführt werden. Laut Müller-Deile ist die adaptive Methode am besten geeignet, um bei CI-Trägern die SRT im Störgeräusch innerhalb kurzer Zeit standardisiert und reproduzierbar zu ermitteln. Er verfügt mit 17,1 % pro dB SNR bei Normalhörenden bzw. 10,3 % pro dB SNR bei CI-Trägern über einen steilen Anstieg der PI-Funktion im Störgeräusch und damit eine hohe Messgenauigkeit. Diese ist notwendig, damit auch geringste Änderungen an den Einstellungen von Hörgeräten wahrgenommen werden können. Die Test-Retest-Reliabilität beträgt bei Normalhörenden 0,5 dB und bei hörgeschädigten Probanden 0,7 dB. Bei CI-Trägern ermittelt Müller-Deile einen Wert von 0,76 dB (Kollmeier et al., 2015, Wagener et al., 1999c, Müller-Deile, 2009).

Der OLSA wird für die genannten drei Gruppen als Standardverfahren der Sprachaudiometrie empfohlen (Müller-Deile, 2009, Brand und Wagener, 2017).

Die SRT des OLSA wird anhand der 50 % Verständlichkeit ermittelt. Der SRT-Normwert bei Normalhörenden beträgt -7,1 dB SNR (SD -0.16 dB SNR) (Wagener et al., 1999c). Der Zielwert einer negativen SRT führt laut Kollmeier et al. bei HG-Trägern zu einem Problem. Im negativen SRT-Bereich ist das technische Zusammenspiel von Störschallunterdrückung und gleichzeitiger Sprachsignalverstärkung vieler HG noch ausbaufähig (Kollmeier et al., 2015). Zusätzlich muss gewährleistet werden, dass sowohl das Stör- als auch das Sprachsignal bei hochgradig Schwerhörigen und HG-Trägern mit ausreichenden Schalldruckpegeln dargeboten werden kann und nicht durch gerätetechnische Grenzen limitiert wird (Brand und Wagener, 2017). Weiter sollte der adaptive OLSA im Störgeräusch nur bei CI-Träger eingesetzt werden, die

bei einem festen Sprachpegel von 65 dB SPL in Ruhe mindestens 75 % Verständlichkeit erreichen. Nur dann gelten seine Ergebnisse als zuverlässig (Müller-Deile, 2009, Hey et al., 2014).

Beim OLSA werden ein bis drei Trainingslisten (in Ruhe bzw. im Störschall) im Vorfeld der Messung empfohlen. Der Proband kann sich an den Testablauf gewöhnen und der Einfluss eines Lerneffekts der Testitems wird vermindert (Wagener et al., 1999c, Müller-Deile, 2009, Kollmeier et al., 2015). Nach Durchführung der Trainingslisten ist der OLSA wie eingangs erwähnt, beliebig wiederholbar. Er ist sehr gut für gehäufte Testungen der Sprachverständlichkeit im Rahmen der Einstellung und Optimierung von Sprachprozessorprogrammen nach HG- bzw. CI-Versorgung geeignet (Müller-Deile, 2009, Kollmeier et al., 2015, Brand und Wagener, 2017).

Auch der OLSA ist in der Hilfsmittel-Richtlinie zum Nachweis des Nutzens der HG-Versorgung aufgeführt (Gemeinsamer Bundesausschuss, 2018).

Der OLSA kann als verkürzter Matrixtest bei Kindern oder Probanden mit einer verkürzten Wortmerkspanne eingesetzt werden. Als geschlossene Version kann er selbstständig und unabhängig vom Untersucher in der Muttersprache des Probanden durchgeführt werden. Ein OLSA vergleichbarer Matrixtest ist in 17 Sprachen vorhanden (Brand und Wagener, 2017).

Dem begrenzten Wortschatz der Matrixtests steht der offene Wortschatz und sinnhafte Satzaufbau des Hearing in Noise Tests (HINT) gegenüber. Sowohl die heutige amerikanische als auch die deutschsprachige, männliche Version des HINT besteht aus 12 Listen je 20 Sätze je 6 bis 7 bzw. 8 Silben. Die Sätze bestehen aus 3 bis 7, einfachen, im Alltag gewöhnlich vorkommenden Wörtern, die zum Wortschatz eines sechsjährigen Kindes gehören. Ihr Satzaufbau sollte „natürlich“ klingend und phonemisch ausgeglichen sein. Die deutschsprachigen Sätze des HINT sind an die amerikanischen Sätze angelehnt. Damit der HINT auch mit Kindern durchgeführt werden kann, entstammt das Sprachmaterial der amerikanischen Version einem vergleichbaren Wortschatz der Bamford-Kowal-Bench-Sätze britisch-sprachiger Kinder, während die Wörter der deutschsprachigen Version mit der Datenbank ChildLex überprüft wurden (Nilsson et al., 1994, Joiko et al., 2020). Der Einfluss kognitiver und sprachlicher Fertigkeiten auf die Sprachverständlichkeit wird durch den einfachen grammatikalischen Satzaufbau geringgehalten (Soli und Wong, 2008).

Der amerikanische HINT wurde von einem professionellen männlichen Sprecher aufgenommen, während das deutschsprachige Sprachmaterial von OLSA, Göttinger Satztest und HINT durch einen ungeschulten männlichen Sprecher eingesprochen wurde (Kollmeier und Wesselkamp, 1997, Wagener et al., 1999a, Nilsson et al., 1994, Joiko et al., 2020).

Der HINT kann in Ruhe und im Störschall sowie mit einer adaptiven Pegelsteuerung durchgeführt werden (Soli und Wong, 2008, Joiko et al., 2020). Ein fester Störsignalpegel unter 70 dB SPL spiegelt, laut unabhängiger Studien von OLSA und HINT mit CI-Trägern, die alltägliche Hörsituationen im Störschall am besten wider (Müller-Deile, 2009, Firszt et al., 2004).

Das Hintergrundrauschen vom HINT wird vergleichbar zum OLSA durch vielfache Überlagerung des Sprachmaterials generiert und an das durchschnittliche Langzeitspektrum des jeweiligen Sprechers angepasst (siehe Tabelle 1). Damit wird eine optimale Verdeckung des Sprachmaterials durch das Rauschen gewährleistet. Byrne et al. untersuchten die Frequenzeigenschaften von 12 unterschiedlichen Sprachen. Die Autoren stellten heraus, dass sich das durchschnittliche Langzeitspektrum der verschiedenen Sprachen trotz sprachspezifischer Laute um maximal 1 dB unterscheidet. Außerdem kann das durchschnittliche Langzeitspektrum im Hauptsprachbereich als nahezu unabhängig vom Geschlecht des Sprechers betrachtet werden (Byrne et al., 1994).

Soli und Wong verglichen in ihrer Studie die HINT-Daten von 13 Sprachen. Sie stellten fest, dass sich die Steigungen der PI-Funktion der verschiedenen Sprachen trotz sprecherspezifischer Störsignale in einem Bereich um 10 % pro dB SNR bewegen. Sie schlussfolgerten daraus, dass man die durchschnittliche SRT des HINT bei gleicher Testmethodik sprachübergreifend vergleichen kann.

Zur besseren internationalen Vergleichbarkeit des HINT in verschiedenen Sprachen wurde der H-Score eingeführt. Er wird damit begründet, dass die durchschnittlichen Sprachverständlichkeitsschwellen in Ruhe und im Störgeräusch für Normalhörende in verschiedenen Sprachen funktional gleich sind. Der H-Score ist auf einen Mittelwert von 100 und eine Standardabweichung von 20 festgelegt. Es erfolgt demnach eine Umwandlung der individuellen Normwerte der Sprachverständlichkeit in einen Score, welcher die Sprachunterschiede ausgleicht und damit die Ergebnisse verschiedener Sprachen vergleichbar macht (Soli und Wong, 2008).

Der amerikanische HINT gilt als wichtiges Testverfahren zur Ermittlung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch und wird zur Überprüfung und Optimierung von Hörgeräteeinstellungen eingesetzt (Nilsson et al., 1994, Yund und Woods, 2010, Harianawala et al., 2019). Dabei muss auch beim HINT die begrenzte Anzahl an 12 verfügbaren Testlisten berücksichtigt werden. Bei umfassenden Messungen und damit möglicherweise verbundener, wiederholter Verwendung von Testlisten, können Lerneffekte die Aussagekraft der Messergebnisse einschränken. Es wird daher auch beim HINT ein Training mit ein (laut einer Studie zum schwedischen HINT von Hällgren et al.) bis zwei Listen (laut einer Studie zum amerikanischen HINT von Yund und Woods) empfohlen (Yund und Woods, 2010, Hällgren et al., 2006).

Der HINT wurde inklusive der deutschsprachigen Version bislang in 24 Sprachen entwickelt. 2009 wurde der bereits erwähnte schwedische HINT mit einer weiblichen Sprecherin erstellt und validiert. In der Arbeit von Hällgren et al. wurde auch Bezug zum Matrixtest von Hagerman, ebenfalls mit einer weiblichen Sprecherin, genommen. Das Sprachmaterial der beiden Tests unterscheidet sich in seiner Redundanz, da laut Autoren, kognitive Fähigkeiten der Probanden einen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit haben. Hällgren et al. ordnet die beiden Testmethoden daher als gegensätzlich ein (Hällgren et al., 2006, Hagerman, 1982).

Angelehnt an den OLSA wurde auch im amerikanischen Englisch ein Matrixtest, der American English Matrix Test (AEMT) validiert und Normwerte mit Normalhörenden generiert. Der AEMT wurde mit mehreren weiblichen Sprecherinnen aufgezeichnet. Die PI-Funktion des AEMT hat mit 13,3 % eine steilere Steigung im Vergleich zum HINT mit 10,6 %. Beim HINT sind größere Änderungen des Sprachschalldruckpegels bzw. des SNR notwendig, um Unterschiede in der Sprachverständlichkeit erzielen zu können (Harianawala et al., 2019, Soli und Wong, 2008, Kollmeier et al., 2015).

Eine Studie mit 10 schwerhörigen Probanden von Harianawala et al. verglich die SRT-Werte von AEMT und HINT nach Versorgung der Probanden mit einem Hörgerät. Beim Vergleich der adaptiven Werte erzielten die Probanden beim AEMT signifikant negativere Sprachverständlichkeitswerte im Vergleich zum HINT. Beim Vergleich der mittels fester SNR-Pegel ermittelten PI-Funktion, zeigte sich hingegen beim HINT eine steilere Steigung ($\sim 14 \text{ \%/dB}$) im Vergleich zum AEMT ($\sim 11 \text{ \%/dB}$). Laut Autoren hat der HINT einen geringen Vorteil bei der Registrierung auch kleinster Unterschiede der Sprachverständlichkeit, die beispielsweise im Anpassungsprozess

von Hörgeräten von Bedeutung sind. Der Vorteil des AEMT besteht in dessen Durchführbarkeit. Er kann auch mit Probanden durchgeführt werden, deren Sprachverständlichkeit vermindert ist und welche beim HINT vermutlich bei keiner der möglichen SNR-Werte eine 50 % Verständlichkeit erreichen würden. Trotz genannter Ergebnisse gelten beide Messverfahren als ähnlich sensitiv. Ob der AEMT oder der HINT eingesetzt wird, sollte für jeden Probanden individuell entschieden werden, da hierbei auch Testindikation, verfügbare Untersuchungszeit, mögliche Trainingseffekte, kognitive Fähigkeiten und der bereits erwähnte Schweregrad der Sprachverständlichkeitsstörung Einflussfaktoren darstellen (Harianawala et al., 2019).

2.4 Das Cochlea Implantat

Das Cochlea Implantat ist eine elektronische Neuroprothese für das Innenohr. Bei Funktionsverlust des Corti-Organ wird der intakte Hörnerv direkt, mittels einer in der Cochlea platzierten Reizelektrode, stimuliert. Die Wahrnehmung von Schallsignalen und Sprache wird ermöglicht (Kießling et al., 2017, Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, 2012).

Die Indikation zur Versorgung mit einem Cochlea Implantat kann bei einer höhergradigen cochleären Schwerhörigkeit, bei Nachweis der Funktionsfähigkeit von Hörnerv und Hörbahn, gestellt werden. Neben einer unbekannten Ätiologie können einer Schwerhörigkeit genetische oder erworbene Erkrankungen, wie beispielsweise Infektionen, toxische Substanzen, traumatische Ereignisse oder auch die Presbyakusis (Altersschwerhörigkeit), zugrunde liegen (Ernst et al., 2009).

2.4.1 Aufbau und Funktion

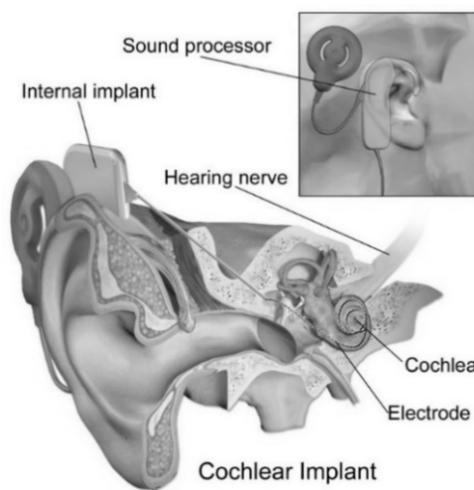


Abbildung 1, schematische Darstellung der Bestandteile eines Cochlea Implantats (Blausen.com, 2014)

Das Cochlea Implantat besteht aus einem extern getragenen Audioprozessor und einem implantierten Stimulator-Gehäuse mit Stimulationselektrode (Abbildung 1). Die externe Komponente setzt sich aus einem Mikrofon zur Schallaufnahme, einer Energieversorgung (Akku oder Batterien) und dem Soundprozessor mit der Übertragerspule zusammen. Der Soundprozessor ermittelt aus dem eingehenden Schallsignal die Parameter der elektrischen Stimulationspulse und wandelt diese in Hochfrequenzsignale um. Mittels elektrischer Induktion werden die Signale transkutan an die implantierte Empfängerspule weitergeleitet. Im dortigen Mikroprozessor werden die Stimulationspulse decodiert und entsprechend des akustischen Reizmusters an die Elektroden weitergegeben. Auch die notwendige Stimulationsenergie wird transkutan, mittels elektrischer Induktion, übertragen. Die heutzutage verwendeten 12 bis 22 Mehrkanalelektroden liegen innerhalb der Scala tympani der Cochlea.

Die einzelnen Elektroden werden anhand der hochfrequenten Stimulationspulse individuell angesteuert und erzeugen, zwischen der aktiven und einer weiteren intra- oder extracochleär gelegenen Referenzelektrode, ein elektrisches Feld. Ein Aktionspotential wird nachfolgend am Hörnerv ausgelöst und entlang der Hörbahn zum zentralen Hörsystem weitergeleitet (Hoth und Steffens, 2016, Lenarz und Boenninghaus, 2012, Kießling et al., 2017).

2.4.2 Verarbeitung von Schallsignalen

Bei einem Cochlea Implantat werden die akustischen Schallsignale, mittels spezieller Kodierungsstrategien in die Parameter der elektrischen Stimulationspulse - Amplitude, Pulsrate und Pulsdauer - übersetzt. Dabei leisten zeitliche und örtliche Codierungsstrategien des Implantats einen großen Beitrag zur Sprachverarbeitung und Verständlichkeit (Ernst et al., 2009, Hoth und Steffens, 2016).

Die physiologische Frequenz-Ortskodierung wird durch die Lage der Elektroden nachgeahmt. Durch Reizung von Elektroden, die sehr tief in die Cochlea eingesetzt werden (nahe der Cochleaspitze), werden tieffrequente Schalleindrücke erfasst, während Elektroden nahe der Cochleabasis hochfrequente Schallsignale erfassen (Ortsprinzip). Zusätzlich erfolgt bei niederfrequenten Schallsignalen eine weitere Codierung der Tonhöhe über die zeitliche Reizimpulsrate (Periodizitätsprinzip). Das zeitliche Auflösungsvermögen wird jedoch bei hochfrequenten Signalen und hohen Pulsraten durch eine zunehmende Verbreiterung der Reizpulse eingeschränkt (Hoth und Steffens, 2016, Rubinstein, 2004).

Der Schalldruckpegel eines Schallsignals wird durch die Amplitude, die an die Elektroden gesendete Stromstärke sowie die Pulsrate, den zeitlichen Ablauf des Schallsignals, codiert. Je höher genannte Parameter, desto höher die Stimulationsrate an der Nervenfasern und desto größer der wahrgenommene Schalldruckpegel. Durch eine hohe Leitfähigkeit der Flüssigkeiten innerhalb der Cochlea überlagern sich die elektrischen Felder bei hohen Pegeln. Das örtliche Auflösungsvermögen und die Fähigkeit zur Unterscheidung verschiedener Tonhöhen (Frequenzselektivität) nehmen ab. Auch die recht unpräzise Stimulation einer Nervenfasern durch eine selektive Elektrode, das begrenzte Platzangebot und die limitierte Anzahl an Elektroden innerhalb der Cochlea, tragen zur genannten Problematik bei. Vor allem der Bereich der Cochlea, der für die Übertragung von Frequenzen unter 500 Hz verantwortlich ist, kann nur schwer mit einer Reizelektrode erreicht werden (Hoth und Steffens, 2016, Rubinstein, 2004, Brown und Bacon, 2010).

Viele Sprachcodierungsstrategien von Cochlea Implantaten beruhen auf der Analyse der Amplitudenmodulationen der Einhüllenden des akustischen Signals (Smith et al., 2002, Stickney et al., 2007). Unter Ruhebedingungen reicht die Einhüllende, trotz einer geringen Pulsrate und verminderten Anzahl an Elektroden und Kanälen, für eine ausreichende Sprachverständlichkeit aus. Unter Störschallbedingungen ist eine präzisere Frequenzwahrnehmung erforderlich. Auch Informationen über die Grund- (F0) und Formantfrequenz (FN) sind notwendig. Die genannten Parameter werden durch Frequenzmodulationen der Feinstruktur des Schallsignals dargestellt. Dessen bisher unzureichende Analyse durch die aktuellen Sprachcodierungsstrategien wird als Ursache der begrenzten Sprachverständlichkeit der CI-Träger unter Störschallbedingungen gesehen. Vor allem der Tieffrequenzbereich ist von den Einschränkungen betroffen (Rubinstein, 2004, Nelson und Jin, 2004, Nie et al., 2006, Stickney et al., 2007, Smith et al., 2002, Nie et al., 2004, Rader et al., 2013).

Cochlea Implantate verfügen über eine begrenzte Fähigkeit, zeitliche oder spektrale Lücken im fluktuierenden Störgeräusch zu nutzen. Bei sich überlagernden Signalen in komplexen Hörsituationen können sie daher Sprachsignale nur eingeschränkt, anhand ihre Grundfrequenz erkennen und verstehen (Nelson und Jin, 2004, Nelson et al., 2003, Brown und Bacon, 2010).

Auch der bereits in Kapitel 2.1 aufgezeigte verminderte Frequenzbereich von CI-Trägern, führt zu einer Einschränkung der Sprachverständlichkeit (Kießling et al., 2017).

2.5 Grundlagen der Stimmbildung

Die Stimmbildung (Phonation) erfolgt im Kehlkopf. Sie wird durch die „myoelastisch-aerodynamische Theorie“ beschrieben.

Die Lunge fungiert als aerodynamische Energiequelle der Phonation. Der Ausatemstrom versetzt die Stimmlippen in oszillierende Bewegung. Diese wird Bernoulli-Schwingung genannt. Durch periodisches Öffnen und Schließen der Stimmlippen entstehen Luftdruckschwankungen, die den Luftstrom aufteilen. Eine Schallwelle, der primäre Kehlkopfschall, entsteht. Er setzt sich aus der Grundfrequenz (F_0) und entsprechenden harmonischen Obertönen, als ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz, zusammen. Durch willkürliche Steuerung der Bernoulli-Schwingung mittels Kehlkopf- und prälaryngealer Muskulatur können verschiedene Lautstärken und Stimmfrequenzen erzeugt werden.

Im Mund-Rachen-Raum (auch Vokaltrakt) oberhalb der Stimmlippe erfolgt, anhand der dortigen Resonanzeigenschaften die Artikulation, das heißt die Umwandlung der primären Schallwelle in verständliche Sprachlaute. Die Resonanz des Vokaltrakts kann mittels willkürlicher Bewegungen der dortigen anatomischen Strukturen und Artikulationsorgane (beispielsweise Gaumensegel, Kehlkopf, Kiefer, Zunge und Lippen) verändert werden. Verschiedene Sprachlaute und Klangvariationen der menschlichen Stimme entstehen (Schneider-Stickler und Bigenzahn, 2013, Zenner, 2011).

Im Vokaltrakt erzeugte Laute werden als Vokale bezeichnet. Sie werden anhand der Formanten F_1 und F_2 , das heißt, der Frequenzbereiche, die entsprechend der Resonanzkonfiguration des Vokaltraktes der größten Verstärkung ausgesetzt wurden, charakterisiert. Die akustische Eigenschaft eines Vokals bzw. seiner zwei Formanten wird über eine unterschiedliche Artikulationsstellung der verschiedenen Artikulatoren definiert. F_1 wird beispielsweise durch die vertikale Zungenstellung beschrieben, während F_2 durch die horizontale Stellung des Zungenkörpers in Relation zur Lippenstellung definiert wird. Die Formanten F_3 bis F_5 charakterisieren die individuelle Klangfarbe der Stimme.

Die F_1 - und F_2 -Werte der Vokale /a:/, /i:/ und /u:/ nehmen extreme Artikulationsstellungen ein. Sie bilden die Eckpunkte eines Vokaldreiecks, mit welchem das phonetische Vokalsystem einer Sprache, dargestellt werden kann (Gelfand, 2017, Schneider-Stickler und Bigenzahn, 2013).

Weitere Sprachlaute sind Konsonanten. Sie werden anhand der Art (Engstelle bzw. Verschluss), dem Ort der Artikulation und dem Artikulator unterteilt. Überlagert die Bernoulli-Schwingung der Stimmlippen den Artikulationsvorgang, werden sie als stimmhafte Konsonanten bezeichnet (Schneider-Stickler und Bigenzahn, 2013).

Die Grundfrequenz der Stimme wird durch die Frequenz der Stimmlippenschwingung, dem subglottischen Druck, der Atemstromgeschwindigkeit und der Länge und Spannung der Stimmbänder bedingt. Im Sprachalltag bewegt sie sich etwa eine Oktave um die mittlere Sprechstimmlage. Anhand der Grundfrequenz kann auf individuelle Eigenschaften eines Sprechers wie Geschlecht, Alter oder Körpergröße geschlossen werden (Skuk und Schweinberger, 2014). Vor allem CI-Träger können mithilfe der Grundfrequenz zwischen einer weiblichen und männlichen Stimme unterscheiden (Fuller et al., 2014).

Männer haben längere und dickere Stimmbänder, die mit einer langsamen Geschwindigkeit schwingen und zu einer mittleren Grundfrequenz von etwa 100 bis 120 Hz führen. Die kürzeren und dünneren Stimmbänder einer Frau schwingen fast doppelt so schnell. Ihre mittlere Grundfrequenz liegt zwischen 200 und 220 Hz (Schneider-Stickler und Bigenzahn, 2013, Simpson, 2009, Titze, 1989).

Bei Kindern lässt sich bis zum elften Lebensjahr kein signifikanter Unterschied der Grundfrequenz beider Geschlechter feststellen. Die Differenzierung von weiblicher und männlicher Stimme und damit Unterscheidung der Grundfrequenz beginnt mit der Pubertät und ist mit etwa 15 Jahren abgeschlossen (Lee et al., 1999).

Auch der Vokaltrakt von Frauen (circa 14 bis 14,5 cm) und Kindern ist im Vergleich zu Männern (circa 17 bis 18 cm) verkürzt und hat einen geringeren Querschnitt. Die Folge sind höher gelegene Formanten und ein größerer Formantbereich kindlicher und weiblicher Stimmen (Gelfand, 2017, Schneider-Stickler und Bigenzahn, 2013). Auch die unterschiedliche Länge des Vokaltrakts kann genutzt werden, um unterschiedliche Sprecher und Sprecherinnen zu differenzieren (Stickney et al., 2007).

Trotz genannter anatomischer und physiologischer Unterschiede, variiert die interindividuelle Stimmgrundfrequenz, sodass Überschneidungen der Grundfrequenzen zwischen den Geschlechtern vorkommen (Simpson, 2009).

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Probanden und Probandinnen

3.1.1 Normalhörende Probanden und Probandinnen

Für die Erstellung und anschließende Validierung des HINT in deutscher Sprache mit weiblicher Sprecherin wurden insgesamt 34 normalhörende Probanden und Probandinnen erfasst. Die Studienteilnahme war freiwillig und unentgeltlich.

Ein Einschlusskriterium der Studie war der Nachweis der Normalhörigkeit der Probanden und Probandinnen. Die ermittelte Hörschwelle der Tonschwellaudiometrie musste, angelehnt an die WHO-Definition der Normalhörigkeit, kleiner 25 dB Hörverlust in den Frequenzen 250, 500, 1.000, 2.000, 3.000, 4.000, und 6.000 Hz betragen (WHO, 2001).

Um die Einflussgröße unzureichender deutscher Wort- und Sprachkenntnisse auf die Sprachverständlichkeit zu minimieren, wurden ausschließlich deutsche Muttersprachler in die Studie eingeschlossen.

Als weitere Einschlusskriterien sind, eine unauffällige audiologische Anamnese zum Ausschluss hörrelevanter Erkrankungen, ein Alter zwischen 18 und 70 Jahren sowie die Einwilligung, zu nennen.

3.1.2 Probanden und Probandinnen mit Cochlea Implantat

Die Probanden und Probandinnen mit Cochlea Implantat wurden aus dem Patientenstamm des Audiologischen Zentrums der Universitätsmedizin Mainz rekrutiert. Als Einschlusskriterium sind die deutsche Muttersprachlichkeit, das Alter (18 bis 70 Jahre) sowie die bilaterale Versorgung mit einem Cochlea Implantat zu nennen. Es wurden ausschließlich CI-Träger und -Trägerinnen in die Studie eingeschlossen, die beim Freiburger Sprachtest eine Einsilberversandlichkeit, mit bilateralem Cochlea Implantat ermittelt, von mehr als 60 % bei 65 dB SPL im Freifeld, erreichten. Die Daten des Freiburger Sprachtest wurden am gleichen Tag, im Vorfeld der HINT-Messungen erhoben (Ausnahme: CI-Probanden 3 und 8, dort wurden die Daten des Freiburger Einsilbertests letztmalig ein Jahr bzw. einen Monat zuvor erhoben). Die Studie wurde mit den alltäglichen Sprachprozessoreinstellungen der CI-Geräte durchgeführt.

Beide Probandenkollektive wurden im Vorfeld der Studie umfassend über diese aufgeklärt. Sie erhielten zusätzlich eine Informationsübersicht über den Ablauf und das

Ziel der Studie und wurden angehalten, eine schriftliche Einwilligungserklärung, zu unterzeichnen.

Ein positives Ethikvotum „Entwicklung und Evaluation des HINT-Sprachtests in deutscher Sprache“ der Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz mit der Referenznummer 837.486.16 (10805) lag zu Studienbeginn vor.

3.2 Studienräumlichkeiten und akustische Geräte

Die Studie fand in Räumen der Abteilung für Audiologische Akustik der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde (HNO)-Klinik der Universitätsmedizin Mainz statt.

Die Tonschwellaudiometrie wurde in schallisolierten Messräumen, mittels AURITEC AT900 Audiometer sowie der Audiometrie-Software Avantgarde 5.1 (AURITEC, Hamburg, Deutschland), durchgeführt.

Zur Aufnahme der Testsätze und Durchführung der Studienmessungen wurde ein PC mit high-quality audio 24-bit, 18-channel digital-to-analog Converter (RME Fireface UC, Haimhausen, Deutschland) verwendet. Weitere Materialien und Geräte zur Aufnahme und Bearbeitung der Testsätze sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2, Materialien und Geräte zur Aufnahme und Bearbeitung der Testsätze

Aufnahme-Software	Steinberg Wavelab Pro 9 (Steinberg, Hamburg, Deutschland)
Soundkarte	RME-Fireface UC(1) 44.1k Soundkarte (Haimhausen, Deutschland)
Schallpegelmesser	NTI XL2 (NTI Audio, Schaan, Liechtenstein)
Mikrofonkapsel	ACO7052 (1/2 Inch Free Field Response Microphone) (ACO Pacific, Belmont, USA)
Mikrofon-Vorverstärker	MA220 (NTI Audio, Schaan, Liechtenstein)

Die Messungen zur Generierung der PI-Funktion wurden mit dem Speech Utility Program (Freed, 2003) durchgeführt.

Die Materialien, die zur Kalibrierung der verwendeten Lautsprecher und Kopfhörer genutzt wurden, sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3, Materialien zur Kalibrierung der Lautsprecher und Kopfhörer

	Lautsprecher	Kopfhörer
	KSdigital Coax-C5 (KSdigital, Saarbrücken, Deutschland)	HDA300 (Sennheiser, Wedemark, Deutschland)
Soundkarte	RME Fireface UC (Haimhausen, Deutschland)	
Mikrofonkapsel	ACO7052 (1/2 Inch Free Field Response Microphone) (ACO Pacific, Belmont, CA, USA) Inklusive Mikrofon-Vorverstärker MA220 (NTI Audio, Schaan, Liechtenstein)	G.R.A.S. 40AO (1/2 Inch Pre-polarized Pressure Microphone) (GRAS, Holte, Dänemark) Inklusive Ohr-Stimulator mit Adapterplatte G.R.A.S. IEC 318 (GRAS, Holte, Dänemark)
Schallpegelmesser	NTI XL2 (NTI Audio, Schaan, Liechtenstein)	Norsonic Nor 131 (Norsonic AS, Lierskogen, Norwegen)

In Abbildung 2 ist die Anordnung der Materialien und akustischen Geräte im Studienraum dargestellt.



Abbildung 2, Anordnung der akustischen Geräte im Studienraum

Die Messungen wurden mit der OLSA Studien-Software 1.3 Oldenburger Messprogramme (HörTech GmbH, Oldenburg) für Windows und der HINT Software Hearing Test Device (Version 1.2, House Ear Institute, Los Angeles, California und Bio-logic System Corp, Mundelein, Illinois) für Windows durchgeführt.

3.3 Durchgeführte Messungen

3.3.1 Tonschwellaudiometrie

Die Tonschwellaudiometrie ist das am meisten verwendete Testverfahren zur Bestimmung der Hörschwelle in der Audiometrie (Lehnhardt und Laszig, 2009).

Die Ruhehörschwelle beschreibt den geringsten effektiven Schalldruck eines akustischen Signals, der gerade eben eine Hörempfindung auslöst (Zwicker und Fastl, 2006). Die Standardskala zur Beschreibung der Hörschwelle ist in der DIN ISO 389 festgelegt (DIN EN ISO 389-1:2018-06, 2018, DIN EN ISO 389-7:2017-01, 2017).

Die Messung beginnt am subjektiv besseren Ohr des Probanden bei 1.000 Hz. Der Lautstärkepegel des Sinustons wird kontinuierlich und mit mittlerer Geschwindigkeit aus dem nichthörbaren Bereich gesteigert, bis der Proband eine erste Hörempfindung signalisiert. Dieser Lautstärkepegel wird als Ruhehörschwelle bezeichnet. Er wird mehrfach überprüft. Durch Ermittlung der Ruhehörschwelle im Frequenzbereich von 125 bis 8.000 Hz wird das Tonaudiogramm erstellt (Lehnhardt und Laszig, 2009).

Bei den NH-Probanden wurde die Ruhehörschwelle nur für die Luftleitung über supra-aurale Kopfhörer bestimmt, da eine anamnestisch evaluierte Erkrankung des Hörorgans als Ausschlusskriterium festgelegt war.

Als Referenz-Audiogramm der CI-Probanden wurde die am Tag der HINT-Studie ermittelte Ruhehörschwelle im Freifeld, unter der Nutzung von Wobbeltönen, verwendet.

3.3.2 Oldenburger Satztest

Der Oldenburger Satztest (OLSA) ist ein etabliertes audiologisches Testverfahren zur Ermittlung der Sprachverständlichkeit in Ruhe und im Störgeräusch (Wagener et al., 1999b, Wagener et al., 1999a, Wagener et al., 1999c).

Er ist ein Matrixtest, anhand dessen Basisliste (zehn Sätze à fünf Wörter), 20 Listen mit je 30 beziehungsweise 20 Sätzen, erstellt wurden.

In dieser Studie wurde der OLSA im Freifeld und unter Störgeräuschbedingungen durchgeführt. Die Probanden saßen mit Blick zum Lautsprecher und in einem Meter Abstand zu diesem im Studienraum. Der OLSA wurde zweimal durchgeführt. Dazu wurde je eine der ersten zehn der 20-Satz-Listen ausgewählt.

Der erste Durchgang diente als Training zur Gewöhnung an das Sprachmaterial und

Testprozedere, während der zweite Durchgang die eigentliche Testmessung darstellte.

Der Störgeräuschpegel, wurde „nicht kontinuierlich“ und damit nur gleichzeitig mit dem Sprachsignal präsentiert. Er war auf konstant 65 dB eingestellt. Für die Studienmessungen wurde eine adaptive Pegelsteuerung gewählt. Der Ausgangswert der adaptiven Pegelsteuerung lag bei den NH-Probanden bei 0 dB SNR und bei den CI-Probanden bei 5 dB SNR.

Zu Messbeginn erfolgte eine Aufklärung der Probanden über das Testprozedere. Sie wurden aufgefordert, die präsentierten Sätze so vollständig wie möglich, wiederzugeben. Auch zur Äußerung nur einzelner verstandener Wörter oder Vermutungen wurden die Probanden angehalten.

Der Untersucher dokumentierte die richtig verstandenen Wörter oder Sätze im Studienprotokoll. Anhand dieses wurde der prozentuale Anteil der richtig wiedergegebenen Wörter pro Satz, in Abhängigkeit vom Sprachsignalpegel, bestimmt. Nach Darbietung aller Sätze wurde wie in Abbildung 3 dargestellt, die Zielvariable, die Sprachverständlichkeitsschwelle bei welcher 50 % der Testitems richtig verstanden wurden, ermittelt (hier als Schwelle (50 %) bezeichnet).

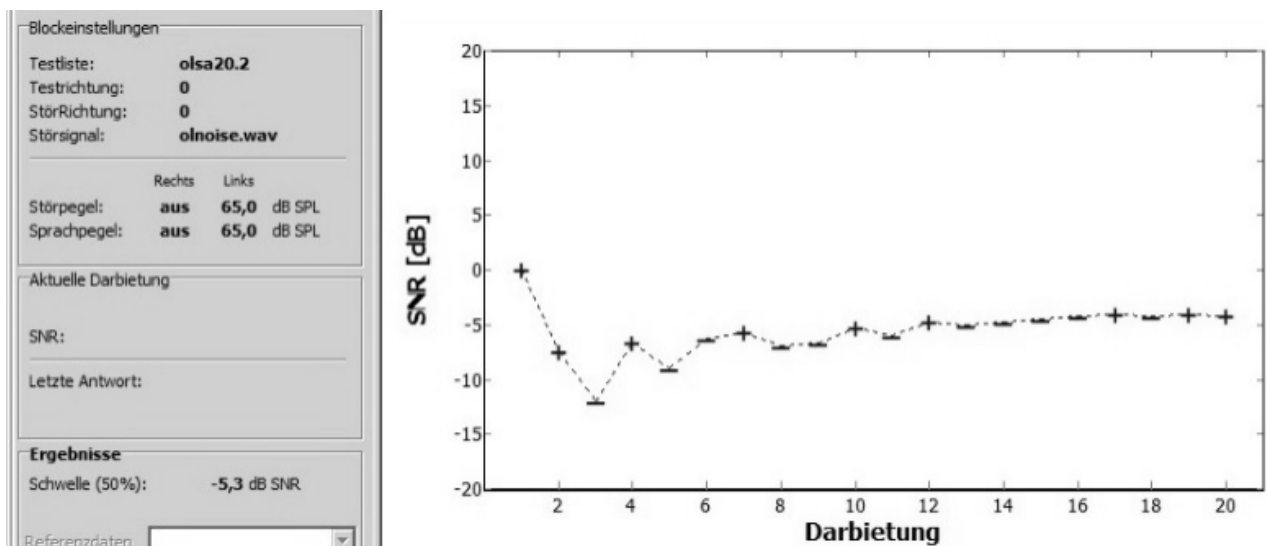


Abbildung 3, Darstellung des Ergebnisprotokolls des OLSA

Links: Messmaske mit dem Schalldruckpegel des Stör- und Sprachsignals sowie der erzielten Sprachverständlichkeitsschwelle (hier -5,3 dB SNR)

Rechts: grafische Darstellung der Entwicklung der Sprachverständlichkeitsschwelle (in dB SNR) bei adaptiver Pegelsteuerung (ein Plus stellt eine Verständlichkeit von mehr als 50 %, ein Minus von weniger als 50 % der präsentierten Testitems dar)

3.3.3 Hearing in Noise Test

Der Hearing in Noise Test wurde 1994 am House Ear Institute in Los Angeles, USA von Michael Nilsson, Sigfrid D. Soli und Jean A. Sullivan in englischer Sprache und mit männlichem Sprecher entwickelt. Ziel des HINT ist eine zuverlässige Beurteilung der Sprachverständlichkeit unter standardisierten Testbedingungen (Nilsson et al., 1994, Soli und Hart, 2012, Soli und Wong, 2008).

2019 wurde von Joiko eine deutschsprachige Version des HINT mit einem männlichen Sprecher entwickelt (Joiko et al., 2020, Joiko, 2019). Im Rahmen der Vergleichsmessungen der beiden Sprecher kann auf die HINT-Software mit männlichem Sprecher zurückgegriffen werden.

Im Folgenden wird der Prozess der Entwicklung und Validierung des HINT mit weiblicher Sprecherin und der Erhebung erster Normdaten beschrieben.

Zur optimalen Vergleichbarkeit der beiden Sprecher, wurden bei der weiblichen Sprecherin die gleichen finalen Sätze des ursprünglich aufgenommenen Sprachmaterials wie beim männlichen Sprecher verwendet. Auch die genaue Zuteilung der 240 Sätze in 12 Listen à 20 Sätze wurde übernommen. Für nähere Informationen zur Generierung und Bewertung der Sätze sowie zur Bildung der Satzlisten wird auf die Dissertation von Joiko verwiesen (Joiko, 2019).

Das ursprüngliche Sprachmaterial umfasste insgesamt 334 Sätze, aufgeteilt in sechs Blöcke à 50 Sätze und ein Block à 34 Sätze. Die Aufnahme erfolgte in einem schallisolierten Raum der HNO-Klinik der Universitätsmedizin Mainz. Es wurden dafür die in Tabelle 2 und 3 (Kapitel 3.2) genannten Geräte und Materialien verwendet. Der Abstand von Mikrophon zur Sprecherin betrug 25 cm. Die 58-jährige Sprecherin ist deutsche Muttersprachlerin, spricht akzentfrei, ohne Dialekt und war ungeübt im Einsprechen von Sprachmaterial.

Sie wurde aufgefordert die Sätze deutlich, mit klarer Stimme, einer normalen Sprechgeschwindigkeit und natürlichen Betonung vorzulesen. Sätze bei denen Versprecher oder Störungen auftraten, wurden am Ende erneut aufgenommen.

Die aufgenommenen Sätze wurden mit der Recording Software Steinberg WaveLab Pro 9 in einzelne Satzdateien von optimaler Länge geschnitten. Vor und nach jedem Satz wurde eine Pause von 20 Millisekunden eingefügt. Auch bei der weiblichen

Sprecherin wurde ein Hochpassfilter verwendet, um störende tiefere Frequenzen und Nebengeräusche auszublenden.

Zusätzlich wurde das durchschnittliche Langzeitspektrum des Sprachmaterials durch Überlagerung aller Sätze errechnet und ein Störgeräusch mit dem gleichen Spektrum erstellt.

Anschließend wurde auch für den HINT mit weiblicher Sprecherin eine PI-Funktion generiert. Mit dieser wurde das Verhältnis der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit verschiedener Schalldruckpegel bzw. SNR bestimmt. Dazu wurden drei Listen à 50 Sätze erstellt. Der Signal-Rausch-Abstand für die Messungen wurde auf -7 dB, -4 dB und -2 dB festgelegt. Der Störgeräuschpegel betrug konstant 65 dB. Das Sprach- und Störsignal wurde den Probanden von vorne, über einen ein Meter entfernten Lautsprecher und damit im Freifeld präsentiert.

Zur weiteren Optimierung des Prozedere wurde das Graeco-Latin-Square-Design verwendet. Damit wurde gewährleistet, dass jede der drei Listen mit jedem der drei festgelegten SNR-Werte und in jeder möglichen Reihenfolge verwendet wird. Die Reihenfolge der Sätze je Liste wurde zufällig und automatisch durch die HINT-Software bestimmt.

Die Messung zur Erstellung der PI-Funktion wurde mit 10 normalhörenden Probanden (6 männlich und 4 weiblich; Durchschnittsalter 26,2 Jahre) durchgeführt. Es wurde das Programm Using SpchUtil (Freed, 2003) verwendet. Die Probanden wurden angeleitet, den präsentierten Sätzen aufmerksam zuzuhören und diese jeweils direkt im Anschluss möglichst vollständig wiederzugeben. In einem Microsoft Excel Protokoll wurde die Anzahl der korrekt wiedergegebenen Wörter pro Satz erfasst und damit die Verständlichkeit Wörter/ Satz in Prozent errechnet. Anschließend wurde der Mittelwert der Sprachverständlichkeit der drei SNR bestimmt und eine PI-Funktion erstellt (Abbildung 10/11, Kapitel 4.3.1.1).

Der Schwierigkeitsgrad der einzelnen Sätze und infolgedessen auch deren Sprachverständlichkeit, unterscheidet sich im Störgeräusch. Um eine vergleichbare Schwierigkeit der Sätze zu erhalten, wurde der Zielwert der Verständlichkeit der einzelnen Sätze, ähnlich dem HINT mit männlichem Sprecher, auf 75 % festgelegt (Joiko et al., 2020, Joiko, 2019). Aufgrund vergleichbarer Ergebnisse der PI-Messungen sowie vergleichbarer Steigungen von weiblichem und männlichem HINT (Kapitel 4.3.1.1

bzw. Joiko, 2019) erfolgte die weitere Anpassung der individuellen SNR-Einstellung der finalen Sätze des weiblichen HINT entsprechend der Daten der Anpassungsmessungen von Joiko für den männlichen HINT (Joiko et al., 2020, Joiko, 2019). Für die Skalierung der Schwierigkeit der einzelnen Sätze in Relation zur Gesamtheit, wurde vergleichbar der HINT-Daten anderer Sprachen, eine Änderung der Sprachverständlichkeit pro dB von 10 % angenommen (Soli und Wong, 2008).

Die HINT-Messungen wurden sowohl mit Kopfhörern als auch im Freifeld durchgeführt. Bei allen Messungen wurden beide Ohren gleichzeitig getestet und eine adaptive Pegelsteuerung gewählt. Die Lautstärke des Sprachsignals wird je nach Anzahl der korrekt wiedergegebenen Wörter bei Satz 1 bis 4 um 4 dB und bei Satz 5 bis 20 um 2 dB adaptiv für den Folgesatz angepasst. Der Störgeräuschpegel beträgt konstant 65 dB. Die SRT wird abschließend aus dem mittleren Sprachpegel der Sätze 5 bis 20 und dem mutmaßlichen Pegel eines 21. Satzes, welcher anhand des Sprachpegels des 20. Satzes ermittelt wurde, bestimmt.

Bei den NH-Probanden wurde die adaptive Messmethode „Regel 1: 100 % korrekte Wörter“ angewandt. Nur bei 100 % Verständlichkeit wird ein Satz als richtig gezählt und die SNR des Folgesatzes adaptiv angepasst, indem dessen Sprachpegel vermindert wird. Bei den CI-Trägern wurde die adaptive Methode „Regel 2: 75 % korrekte Wörter“ genutzt. Hier reichte eine Verständlichkeit von 75 % des Satzes aus, um diesen für die adaptive Anpassung der SNR des Folgesatzes, zählen zu können. Begründet werden die gewählten Methoden anhand der Studie von Chan et al., welche die genannte Regel 2 bei Probanden, bei welchen eine verminderte Sprachverständlichkeit unter Ruhebedingungen bekannt ist oder erwartet wird, als geeigneter ansehen (Chan et al., 2008).

Die Sprache wird wie in Abbildung 4 dargestellt, bei allen Testkonditionen immer von vorne (Sound 0°) präsentiert. Das Störgeräusch wird je nach Testkondition von vorne (Noise 0°), rechts (Noise +90°) oder links (Noise +270°) präsentiert.

Im Folgenden werden die verwendeten HINT-Konditionen entsprechend der Anordnung von Sprach (Sound)- und Störsignal (Noise) aufgezählt:

a. & b.*	NF (Noise Front (NF)) (0°), mit Kopfhörern bzw. im Freifeld *zweimalige Messung, Wertung einmal als Training, einmal als Test
c.	NR (Noise Right (NR)) ($+90^\circ$), mit Kopfhörern
d.	NL (Noise Left (NL)) ($+270^\circ$), mit Kopfhörern
e.	Quiet (Ruhe (Q)), mit Kopfhörern
f.	Quiet (Ruhe (Q)), im Freifeld

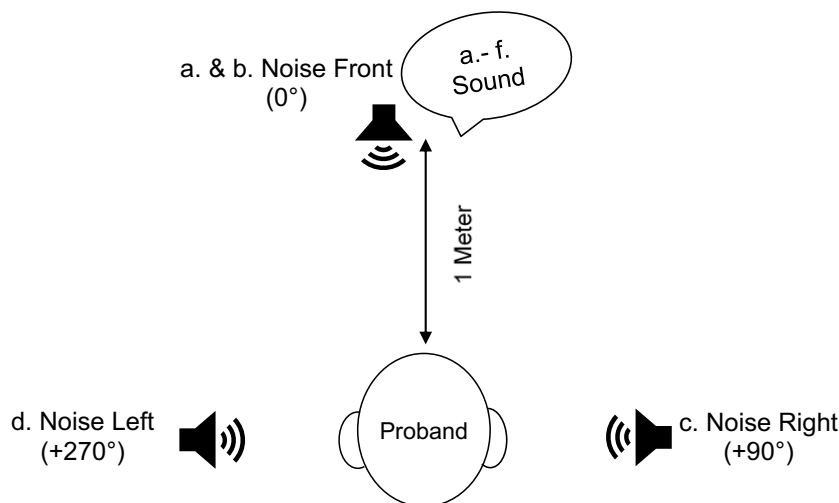


Abbildung 4, Blick von oben auf die Anordnung der Schallquellen (Sound und Noise) der Testkonditionen a. bis f. im Studiendesign

Der Startsprachpegel der Konditionen in Ruhe wurde für die NH-Probanden auf 20 dB und für die CI-Träger auf 30 dB festgelegt. Für die NF Kondition wurde der Start-SNR-Wert auf 0 dB SNR (NH) bzw. 5 dB SNR (CI) sowie für die NR und NL Kondition auf -15 dB SNR festgelegt.

Die adaptive Messung begann, sobald beim ersten Satz durch Steigerung des Startsprachpegels eine Verständlichkeit von 100 % (NH) bzw. 75 % (CI) erzielt wurde.

Die Messung zur Generierung der Normdaten für den HINT mit weiblicher Sprecherin erfolgte als Teil der Vergleichsmessung mit dem HINT mit männlichem Sprecher und dem OLSA. Eine Hälfte der Probanden begann mit den HINT-Messungen, die Andere mit den OLSA Messungen. Beim HINT begann wiederum eine Hälfte der Probanden mit der weiblichen Sprecherin und die Andere mit dem männlichen Sprecher. Ein beispielhaftes Testprotokoll ist der Tabelle 4 zu entnehmen. Die genannten

sechs Messkonditionen wurden bei den NH-Probanden je einmal mit beiden Sprechern durchgeführt, sodass alle 12 HINT-Listen innerhalb des Testprotokolls für jeden Probanden verwendet wurden.

Tabelle 4, beispielhaftes Testprotokoll zur Validierung der Normdaten des HINT mit weiblicher Sprecherin sowie für die Vergleichsmessung mit dem HINT mit männlichem Sprecher und dem OLSA

Zuordnung von Testmethode, Reihenfolge, Kondition und Präsentationsmodus

Testmethode	Reihenfolge	Kondition	Präsentationsmodus
Männlicher HINT	1	Noise Front (Training)	HP
	2	Noise Front (Test)	HP
	3	Noise Right	HP
	4	Noise Left	HP
	5	Ruhe	HP
	6	Ruhe	SF
Weiblicher HINT	7	Noise Front (Training)	HP
	8	Noise Front (Test)	HP
	9	Noise Right	HP
	10	Noise Left	HP
	11	Ruhe	HP
	12	Ruhe	SF
OLSA	13	Noise Front (Training)	SF
	14	Noise Front (Test)	SF

Mithilfe des Graeco-Latin-Square-Designs wurde ein Studienprotokoll für 12 Probanden entwickelt, bei dem jede mögliche Kombination von Listennummer und Testkondition beachtet wird. Es wurde zweimal durchlaufen, sodass jedes Protokoll von einer weiblichen Probandin und einem männlichen Probanden absolviert wurde.

Zur Auswertung der Daten wurde der Mittelwert und die Standardabweichung der Sprachverständlichkeitsschwelle der einzelnen Konditionen sowie Perzentilen berechnet (Kapitel 4). Auch bei dieser Studie wurde anhand der einzelnen SRT-Ergebnisse im Störgeräusch der Noise Composite Score nach Soli und Wong berechnet:

$$\text{Noise Composite Score} = \frac{[(2x \text{ NF SNR}) + \text{NR SNR} + \text{NL SNR}]}{4} \quad (\text{Soli und Wong, 2008}).$$

Die Berechnung des H-Scores erfolgte entsprechend seiner Bestimmung in der Studie zum amerikanisch-englischen HINT von Vermiglio (Vermiglio, 2008).

Die HINT-Messungen der CI-Träger erfolgten alle im Freifeld. Es wurden je drei Messungen der Kondition NF mit dem weiblichen und männlichen HINT-Verfahren durchgeführt. Zunächst erfolgte im Wechsel der beiden Sprecher je eine Trainingsmessung, bevor mit jedem Sprecher erst eine Test- und dann eine Testwiederholungsmessung durchgeführt wurde. Abschließend erfolgte je Sprecher eine Messung in Ruhe. Die Zuordnung der 12 Listen zu den damit acht HINT-Messungen erfolgte zufällig. Der erste CI-Proband begann mit dem HINT mit männlichem Sprecher, der zweite mit dem HINT mit weiblicher Sprecherin. Beide schlossen ihre Messungen mit den beiden OLSA Durchgängen ab. Der dritte und vierte CI-Proband begann mit den beiden OLSA Messungen gefolgt vom HINT mit männlichem Sprecher bzw. weiblicher Sprecherin. Bei den nachfolgenden CI-Probanden wiederholte sich das beschriebene Protokoll. Das Studienprotokoll der CI-Träger ist detailliert im Anhang (Kapitel 8.3) dargestellt.

Zu Beginn der vergleichenden Messung wurden beide Probandenkollektive erneut umfassend über das Testprozedere aufgeklärt. Sie wurden nochmalig angehalten auch jegliche Vermutungen zu äußern, zu raten und sich von nicht komplett verstandenen Sätzen, nicht entmutigen zu lassen. Jedes richtig verstandene Wort wurde in der HINT-Software protokolliert und die generierte Ergebnisdatei mit der ermittelten Sprachverständlichkeitsschwelle gespeichert.

3.4 Dokumentation, statistische und phonetische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mithilfe der Software Microsoft Excel 2016 (Version 16.0.12527.21294, Redmond, Washington, USA, Microsoft Corp.) und der IBM Software SPSS Statistics (Version 23, Aemonk, New York, USA, IBM Corp.) durchgeführt.

Die Ergebnisdaten der Studie werden als arithmetische Mittelwerte (MW) mit Standardabweichung ($\pm$ SD) dargestellt. Das Signifikanzniveau zur Auswertung der statistischen Tests wurde mit $\alpha = 5\%$ festgelegt, sodass ein p-Wert von $p \leq 0,05$ als statistisch signifikant und ein $p < 0,01$ als hoch signifikant angenommen wird.

Die Überprüfung der Normalverteilung der Daten wurde mithilfe des Kolmogorow-Smirnow-Tests durchgeführt. Ein p-Wert $\geq 0,05$ bedeutet, dass die Nullhypothese (H_0 = Messergebnisse sind normalverteilt) angenommen werden kann. Bei einem $p < 0,05$ wird die Nullhypothese verworfen. Entsprechend der Verteilungsannahme wurde die weitere statistische Auswertung mittels parametrischer beziehungsweise nicht-parametrischer Testverfahren, durchgeführt.

Die Größe statistisch signifikanter Ergebnisse wurde zusätzlich, anhand der Effektstärke mittels Pearson-Korrelationskoeffizient r bzw. Cohens d , ermittelt. Die Effektstärke liegt zwischen 0 (kein Effekt) und 1 (maximaler Effekt) und wird nach Cohen wie folgt eingeteilt: $r = 0,1 - 0,3$ bzw. $d = 0,2 - 0,5$ schwacher Effekt; $r = 0,3 - 0,5$ bzw. $d = 0,5 - 0,8$ mittlerer Effekt und $r > 0,5$ bzw. $d > 0,8$ starker Effekt (Cohen, 1988).

Die verwendeten Boxplots setzten sich aus dem Median (Querbalken innerhalb der Box), der Box (Interquartilsabstand zwischen erstem und drittem Quartil) und den Whiskern zusammen. Die Whisker entsprechen dem 1,5-fachen Interquartilsabstand. Liegt der minimale (min.) oder maximale (max.) SRT-Wert innerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstands, so stellt dieser den Whisker dar. SRT-Werte, die nicht innerhalb des Whiskers liegen, werden als Ausreißer bezeichnet. Ausreißer die zwischen dem 1,5-fachen und 3-fachen Interquartilsabstand liegen, werden als milde Ausreißer bezeichnet (im Boxplot mit $^{\circ}$ gekennzeichnet). Ausreißer, die über dem 3-fachen Interquartilsabstand liegen, werden als extreme Ausreißer bezeichnet (im Boxplot mit $*$ gekennzeichnet). Bei der Auswertung der Daten wurden die Ausreißer berücksichtigt.

Die phonetische Analyse der Stimmen der weiblichen Sprecherin und dem männlichen Sprecher des HINT, wurde mithilfe der frei verfügbaren Software PRAAT (Version 6.1.01/6.1.02, Boersma und Weenink, Amsterdam, Niederlande), durchgeführt. Die verwendeten Skripte, 4.4.1 (Formant), 5.3.2 (Sprechgeschwindigkeit) sowie 6.7.1 und 6.7.2 (Grundfrequenz) zur Auswertung der phonetischen Parameter der beiden Sprecherstimmen, entstammen dem Handbuch „Phonetische Analysen mit Praat“ von Mayer (Mayer, 2017).

Von den 240 HINT-Sätzen wurden je Liste drei Sätze zufällig ausgewählt. Es wurden die mittlere Grundfrequenz (mit SD), der mittlere Grundfrequenz-Bereich, sowie die mittlere Sprechgeschwindigkeit der ausgewählten Sätze ermittelt. Der mittlere Grundfrequenz-Bereich wurde zunächst, anhand der Differenz des maximalen und minimalen Frequenzwertes für jeden Satz einzeln, erfasst. Anschließend wurde der arithmetische Mittelwert aller Differenzwerte errechnet (Tabelle 5, Kapitel 4.2).

Zusätzlich wurden bei beiden Sprechern für die gleichen zufällig ausgewählten Ausführungen der Vokale /a:/, /u:/ und /i:/ (je $n = 12$) die Formantfrequenz F1 und F2 bestimmt. Dazu wurden einige Millisekunden eines relativ konstanten Bereichs der Vokalausführung ausgewählt und mithilfe eines Skripts zur Formantanalyse der F1- und F2-Mittelwert berechnet (Tabelle 6 und Abbildung 6, 7, Kapitel 4.2).

Anhand des arithmetischen Mittelwerts der F1- und F2-Werte der drei Vokalausführungen wurde für beide Sprecher ein Vokaldreieck erstellt. Die euklidische Fläche ($A_{\text{Vokalraum}} [\text{Hz}^2]$) wurde mithilfe der Determinanten der drei Eckpunkte des Vokaldreiecks berechnet (Abbildung 8, Kapitel 4.2).

Der F1- und F2-Bereich der beiden Sprecher wurde durch die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen F1- und F2-Wert aller 36 ausgewählten Ausführungen der Vokale /a:/, /u:/ und /i:/ berechnet. Zusätzlich wurde der mittlere Abstand zwischen den beiden Formanten F1 und F2 für die beiden Vokale /a:/ und /i:/ ermittelt (Tabelle 7, Kapitel 4.2).

Zur Berechnung der mittleren Sprechgeschwindigkeit erfolgte eine Trennung der 36 zufällig ausgewählten Sätze in ihre Silben und Pausen. Anschließend wurde die mittlere Sprechgeschwindigkeit, mithilfe eines Skripts zur Sprechgeschwindigkeitsanalyse exklusive gemachter Pausen, zunächst für jeden Satz einzeln und weiter der Mittelwert aller Sätze, bestimmt.

4 ERGEBNISSE

4.1 Probandenkollektiv

Die 24 normalhörenden Probanden (12 weiblich, 12 männlich) waren zwischen 23 und 41 Jahre alt und hatten einen mittleren Altersdurchschnitt $\pm$ SD von $26,8 \pm 3,4$ Jahren. Die ermittelte Ruhehörschwelle im Frequenzbereich von 125 bis 8.000 Hz aller 24 Probanden lag beim rechten Ohr bei einem Mittelwert $\pm$ SD von $8,35 \pm 4,65$ dB (min. 0 dB und max. 25 dB Hörverlust) und für das linke Ohr bei einem Mittelwert $\pm$ SD von $7,03 \pm 5,09$ dB (min. -5 dB und max. 25 dB Hörverlust).

Die 11 eingeschlossenen Probanden mit Cochlea Implantat ($6 \triangleq 55$ % weiblich, $5 \triangleq 45$ % männlich) waren zwischen 18 und 84 Jahre alt und hatten einen mittleren Altersdurchschnitt $\pm$ SD von $39,27 \pm 20,15$ Jahren (Median 39 Jahre).

Bei den CI-Probanden wurde im Vorfeld der Messung beidseits getrennt die Aufblähkurve, eine mit CI ermittelte Hörschwelle im Freifeld, unter Verwendung von Wobbel-tönen, bestimmt (Frequenzbereich von 125 bis 8.000 Hz). Diese lag gemittelt für alle Probanden rechts bei einem Mittelwert $\pm$ SD von $23,15 \pm 8,77$ dB (min. 5 dB und max. 40 dB Hörverlust) und links von $24,22 \pm 9,16$ dB (min. 5 dB und max. 45 dB Hörverlust). Die Probanden trugen Cochlea Implantate der Firmen Advanced Bionics, Cochlear und MED-EL, waren meist postlingual ertaubt und häufig vor der CI-Versorgung mit einem HG versorgt (siehe Anhang, Kapitel 8.7)

Die Studienergebnisse der CI-Probanden 1 und 7 wurden nicht mit in die Auswertung einbezogen, da ihre SRT-Werte der Kondition NF bei beiden Sprechern als Extremwerte identifiziert wurden. Als Grenzwert für die Berücksichtigung wurde ein maximaler SRT-Wert der genannten Kondition festgelegt, welcher die 2-fache SD des Mittelwertes der restlichen Probanden nicht überschreiten durfte. Die beiden genannten CI-Probanden erzielten bei beiden Sprechern deutlich abweichende SRT-Werte. Beim weiblichen HINT erzielten beide Probanden eine SRT von 7,5 dB SNR, beim männlichen HINT von 4,20 dB SNR bzw. 7,5 dB SNR. Der Einschlussbereich lag beim weiblichen HINT zwischen -4,51 und 3,37 dB SNR und beim männlichen HINT zwischen -4,49 und 3,58 dB SNR.

4.2 Phonetischer Vergleich zwischen den beiden HINT-Sprechern

In Tabelle 5 sind die berechneten Mittelwerte der phonetischen Parameter Grundfrequenz, minimale und maximale Grundfrequenz sowie des Grundfrequenz-Bereichs der beiden HINT-Sprecher angegeben.

Tabelle 5, Mittelwert mit SD der Grundfrequenz (F_0), Mittelwert der minimalen und maximalen Grundfrequenz (F_{0min} und F_{0max}) sowie des Grundfrequenz-Bereichs (F_0 -Bereich) der beiden HINT-Sprecher

zusätzlich ist mit (n) die Anzahl der analysierten Sätze und der p-Wert des t-Test für unabhängige Stichproben bzw. des Mann-Whitney-U-Tests aufgeführt

Sprecher	$F_0 \pm SD$ [Hz] (n = 36)	F_{0min} [Hz] (n = 36)	F_{0max} [Hz] (n = 36)	F_0 -Bereich [Hz] (n = 36)
weiblich	179 $\pm$ 11	125	245	119
männlich	105 $\pm$ 4	80	143	63
p-Wert	< 0,001*			< 0,001*

* signifikant, da $p < 0,05$

Nach Analyse der Normalverteilung der phonetischen Parameter wurde der nachfolgende Vergleich zwischen den beiden Sprechern mithilfe des t-Test für unabhängige Stichproben bzw. des Mann-Whitney-U-Test durchgeführt.

Die phonetische Analyse ergab, sowohl für die Grundfrequenz, als auch den Grundfrequenz-Bereich, einen hoch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Sprechern ($p < 0,001$).

Die mittlere Grundfrequenz der weiblichen Sprecherin unterscheidet sich stark ($r = 0,98$; große Effektstärke) von der des männlichen Sprechers des HINT (Cohen, 1988). Sie ist bei der weiblichen Sprecherin signifikant höher (179 Hz im Vergleich zu 105 Hz).

Auch die mittlere minimale und maximale Grundfrequenz ist bei der HINT-Sprecherin zu höheren Frequenzwerten verschoben.

Der Grundfrequenz-Bereich der weiblichen Sprecherin unterscheidet sich stark vom männlichen Sprecher ($r = 0,86$; große Effektstärke). Er ist bei der weiblichen Sprecherin signifikant größer (119 Hz), gegensätzlich zum männlichen Sprecher (63 Hz). Der größere F_0 -Bereich ist auch an der größeren Box und dem größeren Abstand

zwischen dem ersten und dritten Quartil im Boxplot der Abbildung 5 zu erkennen (Cohen, 1988).

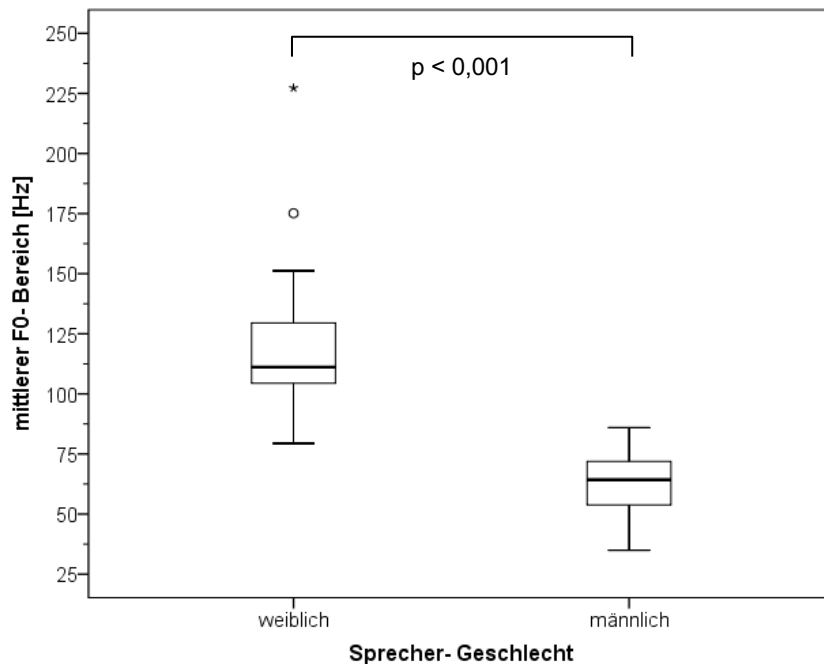


Abbildung 5, Boxplot des mittleren F0-Bereichs [Hz] getrennt nach dem Geschlecht des Sprechers

Der Boxplot zeigt den Median, das 1ste und 3te Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte. Ausreißer sind mit ° und Extremwerte mit * eingezeichnet. (n = 36)

In der nachfolgenden Tabelle 6 sind die Mittelwerte der Formanten F1 und F2 der drei Vokalausführungen /a:/, /u:/ und /i:/ der beiden HINT-Sprecher sowie der p-Wert des t-Test für unabhängige Stichproben bzw. des Mann-Whitney-U-Tests angegeben.

Tabelle 6, Mittelwerte der Formanten F1 und F2 der drei Vokalausführungen /a:/, /u:/ und /i:/ der beiden HINT-Sprecher

zusätzlich ist mit (n) die Anzahl der analysierten Vokale und der p-Wert des t-Test für unabhängige Stichproben bzw. des Mann-Whitney-U-Tests angegeben

Sprecher	/a:/ [Hz] (n = 12)		/u:/ [Hz] (n = 12)		/i:/ [Hz] (n = 12)	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2
weiblich	942	1.455	331	797	334	2.577
männlich	694	1.240	362	1.217	276	2.062
p-Wert	< 0,001*	< 0,001*	0,319	0,039*	< 0,001*	< 0,001*

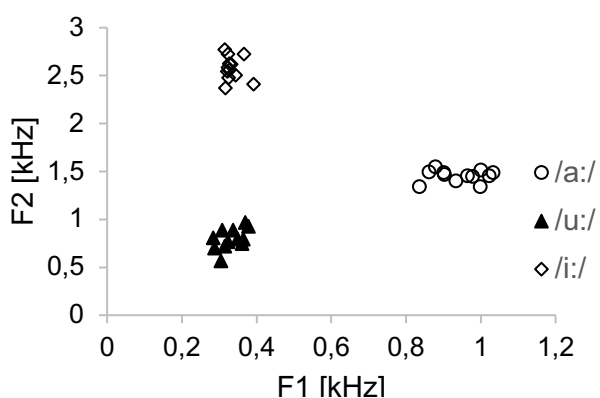
* signifikant, da $p < 0,05$

In den Abbildungen 6 und 7 erfolgt eine grafische Darstellung der beiden Formanten F1 und F2 der drei Vokalausführungen der Vokale /a:/, /u:/ und /i:/ getrennt für beide Sprecher. Es fällt auf, dass die dargestellten Formanten des männlichen Sprechers eine größere Streuung im Vergleich zur weiblichen Sprecherin aufweisen. Vor allem die Formanten F1 und F2 der Vokalausführungen des Vokals /u:/ haben einen großen Streubereich.

Analysiert nach Cohen unterscheiden sich die Formanten F1 bzw. F2 des Vokals /a:/ mit $r = 0,90$ (F1) bzw. $r = 0,84$ (F2) und des Vokals /i:/ mit $r = 0,75$ (F1) bzw. $r = 0,88$ (F2) stark (große Effektstärke) zwischen den beiden Sprechern (Cohen, 1988). Die Formanten F1 bzw. F2 der Vokale /a:/ und /i:/ sind bei der weiblichen Sprecherin zu signifikant höheren Frequenzen verschoben ($p < 0,001$).

Der Formant F2 des Vokals /u:/ ist hingegen beim männlichen Sprecher zu einer signifikant höheren Frequenz verschoben ($p = 0,039$). Dies hat laut Cohen mit $r = 0,42$ eine mittlere Effektstärke (Cohen, 1988).

Für den Formant F1 des Vokals /u:/ konnte im Mann-Whitney-U-Test mit $p = 0,319$ kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Sprechern festgestellt werden. Analog zu Cohen ist der Unterschied zwischen den beiden Sprechern mit einer schwachen Effektstärke ($r = 0,21$) einzuordnen (Cohen, 1988).



$p < 0,05$ für F1 und F2 von /a:/ und /i:/ mit $p < 0,001$ sowie F2 von /u:/ mit $p = 0,039$

Abbildung 6, weibliche Sprecherin: Analyse der Formanten F1 und F2 [kHz] von je 12 Ausführungen der Vokale /a:/, /u:/ und /i:/

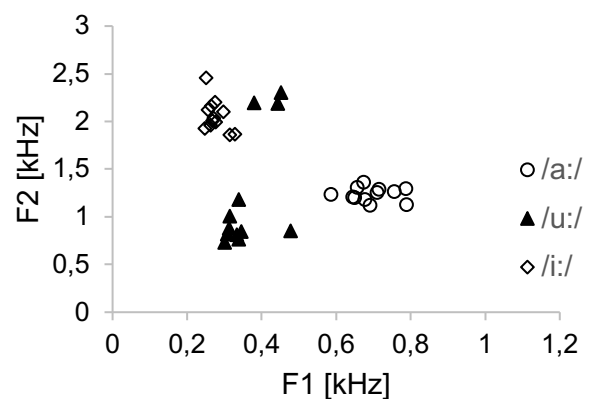


Abbildung 7, männlicher Sprecher: Analyse der Formanten F1 und F2 [kHz] von je 12 Ausführungen der Vokale /a:/, /u:/ und /i:/

Die phonetische Analyse in Tabelle 7 zeigt eine größere Vokalraumfläche sowie einen größeren F1- und F2-Bereich der weiblichen Sprecherin im Vergleich zum männlichen Sprecher. Dieser Unterschied ist auch, anhand der unterschiedlichen Größe der Vokaldreiecke, in Abbildung 8 zu erkennen.

Tabelle 7, Mittelwerte der Vokalraumfläche, des F1- und F2-Bereichs sowie der Differenz F2 - F1 der Vokale /a:/ und /i:/ beider HINT-Sprecher
zusätzlich ist mit (n) die Anzahl der analysierten Vokale und der p-Wert des t-Test für unabhängige Stichproben angegeben

Sprecher	$A_{(Vokalraum)}$ [Hz ²] (n = 1)	F1-Bereich [Hz] (n = 1)	F2-Bereich [Hz] (n = 1)	F2 - F1 /a:/ [Hz] (n = 12)	F2 - F1 /i:/ [Hz] (n = 12)
weiblich	542.803	748	2.206	513	2.243
männlich	141.259	540	1.731	546	1.786
p-Wert				0,319	< 0,001*

*signifikant, da $p < 0,05$

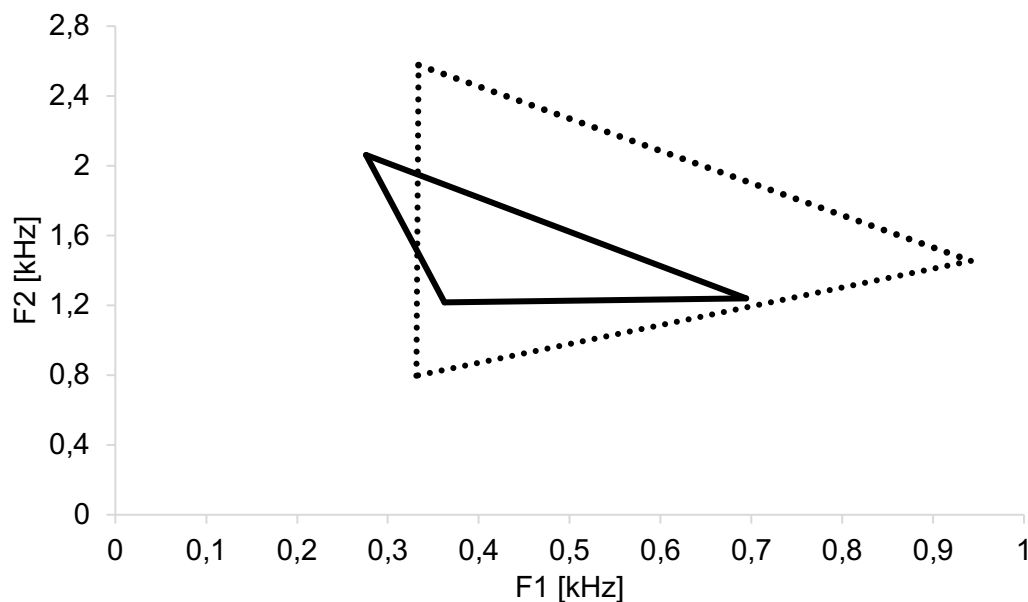


Abbildung 8, Vokaldreieck der Formanten F1 und F2 [kHz] der Vokale /a:/, /u:/ und /i:/ der beiden HINT-Sprecher

weibliche Sprecherin: gepunktete Linie

männlicher Sprecher: durchgezogene Linie

Die geringe absolute Differenz (= 33 Hz) zwischen den Formanten F2 und F1 des Vokals /a:/ beider Sprecher, zeigt sich auch durch das nicht signifikante Ergebnis des t-Test für unabhängige Stichproben ($p = 0,407$) und der schwachen Effektstärke nach Cohen mit $d = 0,34$ (Cohen, 1988).

Beim Vokal /i:/ ist hingegen nach Cohen mit $d = 0,83$ ein großer Unterschied der Differenz der Formanten F2 und F1 beider Sprecher festzustellen (Cohen, 1988). Diese ist beim männlichen Sprecher mit $p < 0,001$ signifikant kleiner im Vergleich zur weiblichen Sprecherin (absolute Differenz beim männlichen Sprecher mit 1.786 Hz im Vergleich zur weiblichen Sprecherin mit 2.243 Hz).

Die Analyse der Sprechgeschwindigkeit mithilfe der PRAAT-Linguistik-Software ergab für die weibliche Sprecherin eine mittlere Sprechgeschwindigkeit von 287 Silben pro Minute. Diese unterscheidet sich hoch signifikant von der mittleren Sprechgeschwindigkeit des männlichen Sprechers mit 251 Silben pro Minute ($p = 0,001$). Laut Cohen kann der Unterschied mit $r = 0,39$ einer mittleren Effektstärke zugeordnet werden (Cohen, 1988). In Abbildung 9 wird der genannte signifikante Unterschied grafisch verdeutlicht.

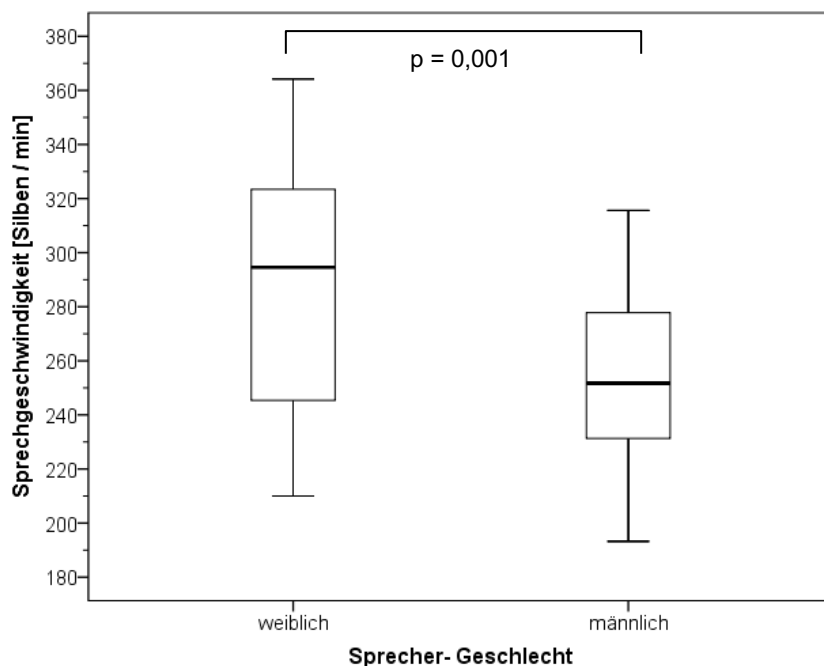


Abbildung 9, Boxplot der mittleren Sprechgeschwindigkeit in Silben/ min getrennt nach dem Geschlecht des Sprechers

Der Boxplot zeigt den Median, das 1ste und 3te Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte. ($n = 36$)

4.3 Ergebnisse der sprachaudiometrischen Tests, normalhörende Probanden und Probandinnen

4.3.1 HINT

4.3.1.1 Performance-Intensitäts-Funktion

In Abbildung 10 und 11 sind die Mittelwerte der Verständlichkeit in % bei den gewählten Signal-Rausch-Abständen -7 dB, -4 dB und -2 dB für den HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher, in Form einer linearen Trendlinie (Abbildung 10) sowie polynomialen Trendlinie zweiter Ordnung (Abbildung 11), dargestellt. Entsprechend der linearen Funktion wird 75 % Verständlichkeit, beim männlichen HINT bei -6,54 dB SNR und beim weiblichen HINT bei -5,72 dB SNR, erreicht.

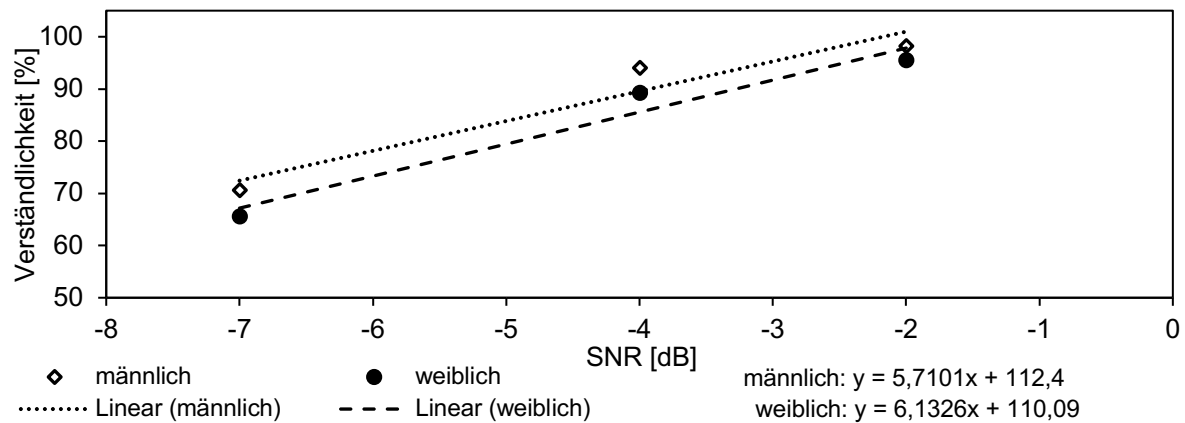


Abbildung 10, lineare PI-Funktion des HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher

Darstellung der mittleren Verständlichkeit [%] der drei SNR-Werte [dB], der linearen Trendlinie der Funktion und der Funktionsgleichung

Mithilfe der Funktion der polynomialen Trendlinie wurde die Verständlichkeit (in %) für die beiden SNR-Werte -5 dB und -7 dB berechnet und weiter die Steigung bestimmt.

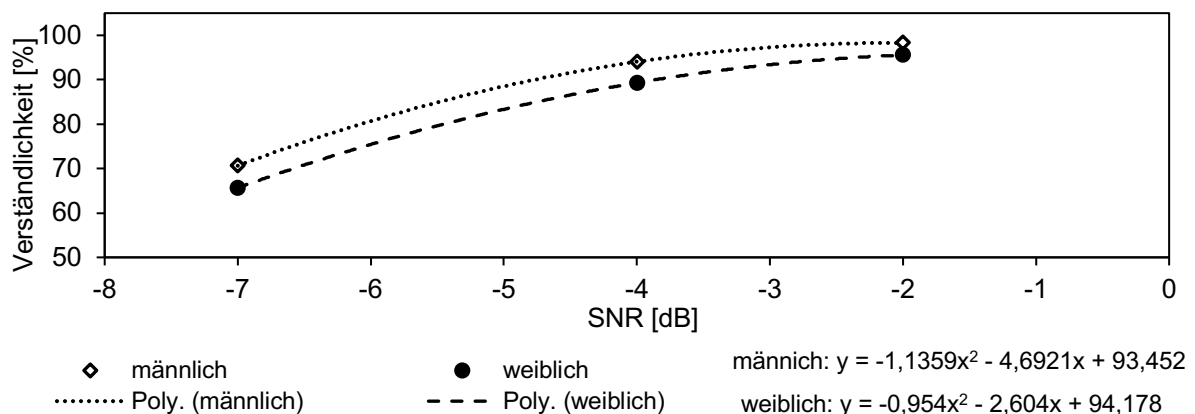


Abbildung 11, polynomiale PI-Funktion des HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher

Darstellung der mittleren Verständlichkeit [%] der drei SNR-Werte [dB], der polynomialen Trendlinie der Funktion und der Funktionsgleichung

Die Steigung des HINT mit weiblicher Sprecherin in der Region um 75 % Verständlichkeit beträgt 8,84 %/ dB, des HINT mit männlichem Sprecher 8,94 %/ dB.

Die durchschnittliche Steigung der PI-Funktion der von Soli und Wong verglichenen 13 anderen Sprachen beträgt 10,3 %/ dB, SD von 1,5 %/ dB (Soli und Wong, 2008). Sowohl, die genannte polynomiale Steigung des weiblichen, als auch des männlichen deutschsprachigen HINT, liegt deskriptiv innerhalb der ersten Standardabweichung des genannten Mittelwerts der anderen Sprachen (MW $\pm$ SD von 8,8 bis 11,8 % / dB).

Mithilfe einer z-Transformation lassen sich die Funktionen sowie die ermittelten Verständlichkeitswerte der beiden Sprecher vergleichen. In Abbildung 12 ist der z-Score, in Form einer linearen Funktion der erreichten prozentualen mittleren Verständlichkeit für die drei SNR-Werte beider HINT-Verfahren, dargestellt.

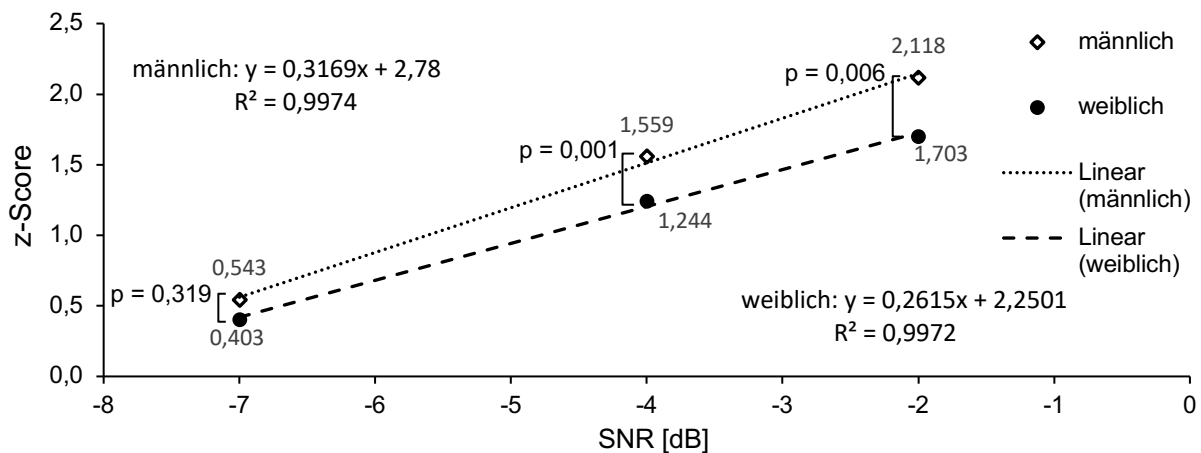


Abbildung 12, Darstellung der linearen Funktion des z-Scores getrennt für den weiblichen und männlichen HINT (Verständlichkeit [%] gegenüber SNR [dB])

zusätzlich sind für die drei festgelegten SNR die individuell ermittelten z-Scores sowie die Funktionsgleichung inkl. des Bestimmtheitsmaßes (R^2) angegeben

Deskriptiv fällt auf, dass die z-Scores sowie die daraus ermittelte Funktion des männlichen Sprechers zu höheren Werten gegenüber der weiblichen Sprecherin verschoben sind. Die Steigung der Funktion der weiblichen Sprecherin (0,2615) ist flacher im Vergleich zur Steigung des männlichen Sprechers (0,3169). Während die beiden z-Scores bei -7 dB SNR deskriptiv vergleichbar sind (absolute Differenz von 0,14), unterscheiden sich die z-Scores bei -4 dB SNR und bei -2 dB SNR voneinander (absolute Differenz von 0,315 bzw. 0,415).

Der statistische Vergleich der normalverteilten Daten ($p \geq 0,05$) der PI-Funktionen beider HINT-Versionen wurde mittels t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Die Daten der PI-Funktion von weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher unterscheiden sich bei -2 dB SNR und -4 dB SNR signifikant voneinander ($p = 0,006$ und $p = 0,001$ und damit kleiner 0,05), während beim SNR von -7 dB SNR kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Sprechern vorhanden ist ($p = 0,319$).

4.3.1.2 Normwerte

In Tabelle 8 sowie den Abbildungen 13 und 14 erfolgt die Darstellung der Normwerte für den HINT mit weiblicher Sprecherin einschließlich der erzielten SRT-Ergebnisse für den HINT mit männlichem Sprecher.

Tabelle 8, SRT [dB SNR] bzw. [dB] der verschiedenen Konditionen und des NCS beim HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher

HINT	SRT	NF Training (HP)	NF Test (HP)	NR (HP)	NL (HP)	Ruhe (HP)	Ruhe (SF)	NCS
Weibliche Sprecherin	Mittelwert	-5,46	-6,07	-14,19	-14,20	19,09	16,05	-10,12
	SD	0,71	1,02	1,15	1,55	2,40	1,74	0,54
	Maximum	-7,2	-8,3	-16,4	-17,4	15,1	13,1	-10,85
	Minimum	-4,3	-3,8	-11,7	-11,7	25,5	20,9	-9,13
Männlicher Sprecher	Mittelwert	-5,60	-5,81	-14,13	-14,73	18,28	15,55	-10,13
	SD	1,04	0,75	0,80	1,01	2,44	1,95	0,68
	Maximum	-7,4	-7,3	-16,2	-16,4	14,3	12,2	-11,60
	Minimum	-2,9	-4,4	-12,9	-12,8	23,3	20,3	-8,78

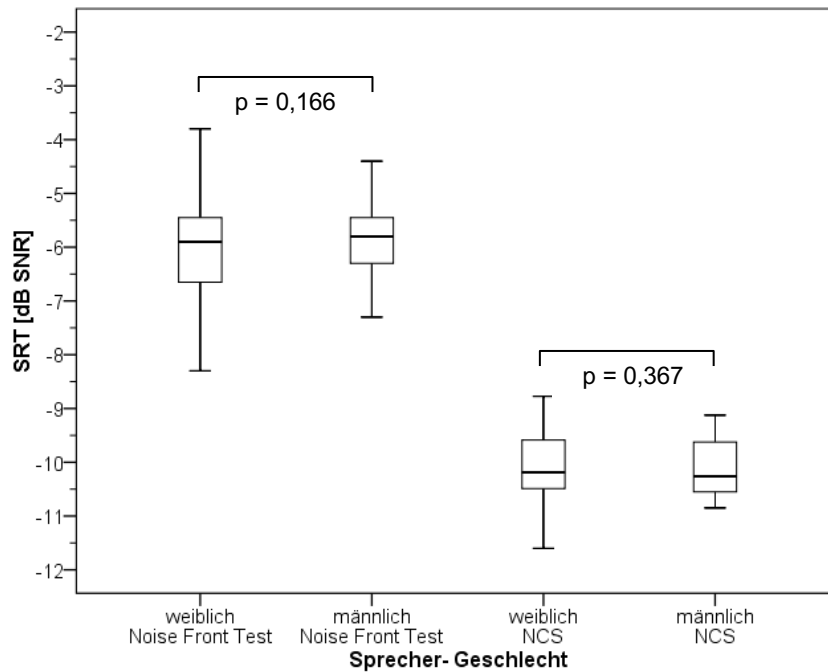


Abbildung 13, Boxplot der SRT [dB SNR] für die Konditionen NF Test und den errechneten Noise Composite Score getrennt nach dem Geschlecht des Sprechers
Der Boxplot zeigt den Median, das 1ste und 3te Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte. (n = 24)

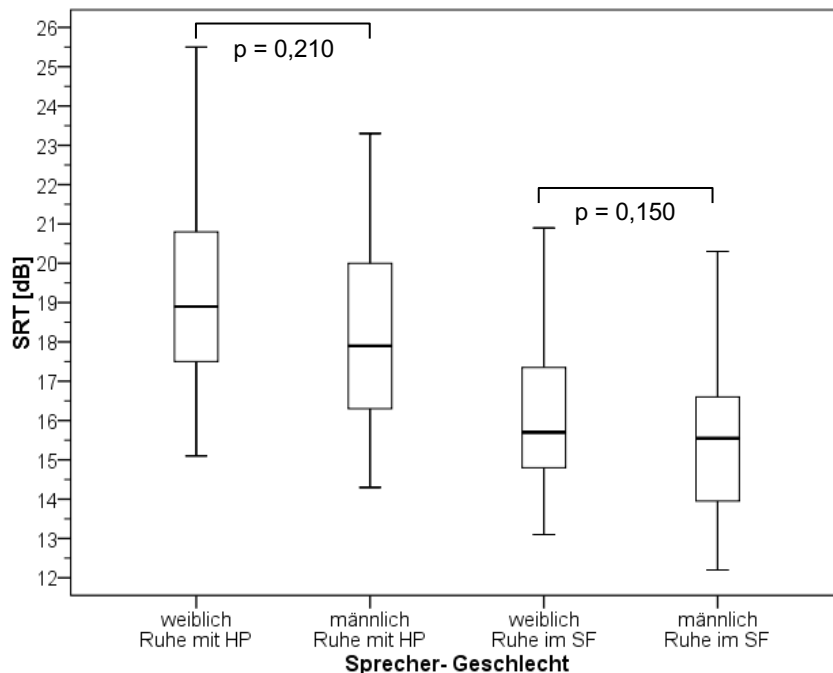


Abbildung 14, Boxplot der SRT [dB] für die Konditionen in Ruhe mit Kopfhörern (HP) und im Freifeld (SF) getrennt nach dem Geschlecht des Sprechers
Der Boxplot zeigt den Median, das 1ste und 3te Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte. (n = 24)

Aufgrund der Normalverteilung der Ergebnisse der SRT aller HINT-Konditionen mit $p \geq 0,05$ wurde, zur Auswertung eines möglichen signifikanten Einflusses des Geschlechts des Sprechers auf die erzielten SRT-Werte, ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt.

Die ermittelten p-Werte lagen, sowohl für die Kondition Noise Front, den Noise Composite Score sowie die beiden Messungen in Ruhe, außerhalb des Signifikanzniveaus von 5 %. Damit bestätigt sich statistisch der auch deskriptiv sowie grafisch erkennbare, nicht signifikante Einfluss der Variable Sprecher- Geschlecht auf die erzielten SRT-Werte. Bei der weiblichen Sprecherin sowie dem männlichen Sprecher werden statistisch vergleichbare Sprachverständlichkeitswerte erzielt.

Zur Analyse des Trainingseffekts zwischen der ersten und zweiten NF Messung wurde ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt.

Für die Konditionen NF Training und NF Test beim männlichen Sprecher konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der SRT festgestellt werden ($p = 0,180$ (1-seitig)). Bei der weiblichen Sprecherin ist der Unterschied signifikant ($p = 0,022$ (1-seitig)). Eine grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 15.

Die Durchführung eines Trainingsdurchgangs im Vorfeld des Testdurchgangs hat nur beim HINT mit weiblicher Sprecherin einen signifikanten Effekt auf die beim Testdurchgang erzielte SRT. Der Unterschied zwischen den beiden SRT-Werten wird nach Cohen mit $d = 0,43$ einem geringen Effekt zugeordnet (Cohen, 1988).

Die gerichtete, einseitige Analyse des Trainingseffekts wird auf der Annahme begründet, dass wie bereits für andere sprachaudiometrische Testverfahren bewiesen (Vergleich Kapitel 2.3), auch beim HINT durch einen Trainingsdurchgang eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit beim folgenden Testdurchgang vermutet wird.

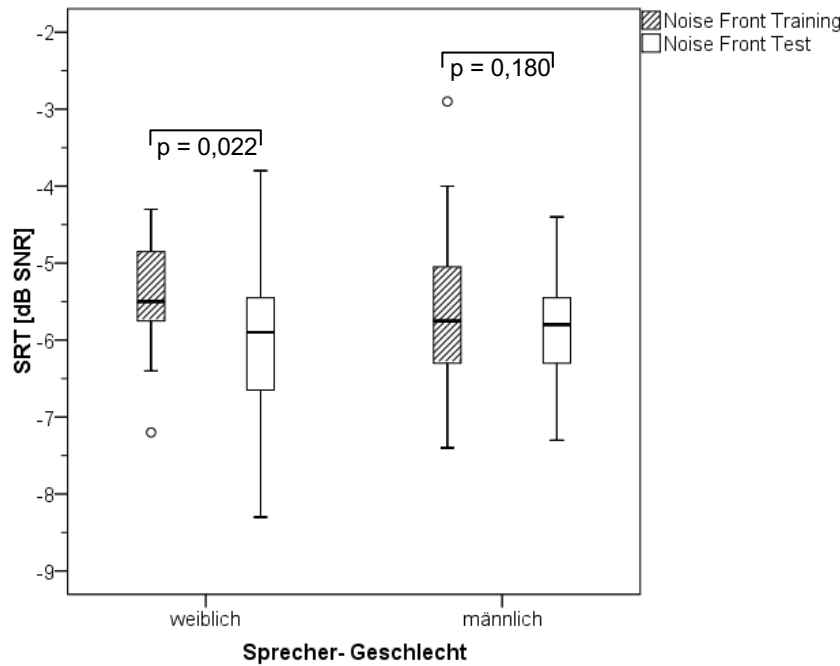


Abbildung 15, Boxplot der SRT [dB SNR] der NF Trainings- und Testkondition des HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher

Der Boxplot zeigt den Median, das 1ste und 3te Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte. Ausreißer werden mit ° dargestellt. (n = 24)

Nach Analyse der Normalverteilung mittels Kolmogorow-Smirnow-Test wurde mithilfe eines t-Test für unabhängige Stichproben, ein Vergleich der Ergebnisse der ersten sechs HINT-Messungen und des NCS eines jeden Probanden, in Abhängigkeit vom Geschlecht des HINT-Sprechers, durchgeführt (Mittelwert mit SD der SRT siehe Tabelle 17 im Anhang, Kapitel 8.6)

Die eine Hälfte der Probanden begann mit den HINT-Messungen mit der weiblichen Sprecherin während die andere Hälfte zunächst den HINT mit männlichem Sprecher absolvierte.

Ziel des t-Tests ist die Überprüfung eines möglichen signifikanten Einflusses der Variable Sprecher- Geschlecht auf die erzielte SRT der ersten sechs HINT-Messungen.

Die ermittelten p-Werte lagen bei allen sechs Konditionen außerhalb des Signifikanzniveaus von 5 %. Es ist daher kein signifikanter Einfluss der Variable Sprecher- Geschlecht auf die erzielte SRT der ersten sechs HINT-Messungen festzustellen.

Die Ergebnisse der ersten sechs HINT-Messungen und der daraus errechnete NCS eines jeden Probanden wurden zusätzlich getrennt nach deren Geschlecht ausgewertet. Die ermittelten SRT-Werte und der NCS sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9, SRT [dB SNR] bzw. [dB] der ersten sechs HINT-Messungen und des NCS eines jeden Probanden getrennt nach dem Geschlecht der Probanden und der Sprecher

Probanden- Geschlecht	Sprecher- Geschlecht		NF Training (HP)	NF Test (HP)	NR (HP)	NL (HP)	Ruhe (HP)	Ruhe (SF)	NCS
weiblich	weiblich	MW	-5,52	-6,00	-13,75	-14,75	20,10	16,37	-10,13
		SD	1,04	0,68	1,15	1,90	2,00	1,76	0,47
	männlich	MW	-5,50	-6,58	-14,28	-14,82	18,08	16,15	-10,57
		SD	0,60	1,03	1,50	1,28	2,04	1,27	0,78
männlich	weiblich	MW	-4,97	-5,73	-13,90	-14,80	17,53	14,77	-10,04
		SD	1,18	0,75	0,28	1,26	2,34	1,79	0,45
	männlich	MW	-5,70	-5,95	-14,28	-14,70	18,17	15,52	-10,22
		SD	0,91	0,54	1,17	0,77	2,85	2,55	0,52

Mit Ausnahme der Ergebnisse der Ruhemessung im Freifeld bei der weiblichen Sprecherin, weibliche Probandinnen sowie der NL Messung beim männlichen Sprecher, männliche Probanden, sind laut Kolmogorow-Smirnow-Test, alle anderen ermittelten Ergebnisse normalverteilt.

Die ermittelten p-Werte der mehrfaktoriellen ANOVA, lagen für alle Konditionen, außerhalb des festgelegten Signifikanzniveaus. Auch das Geschlecht der Probanden hat keinen signifikanten Einfluss auf die ermittelte SRT.

Die ermittelte Sprachverständlichkeit der ersten sechs HINT-Messungen und der daraus errechnete NCS unterscheiden sich sowohl in Abhängigkeit vom Geschlecht des HINT-Sprechers als auch des Geschlechts der Probanden nicht signifikant.

Abschließend wurden die Ergebnisse dieser Studie mit den Normwerten der Studie von Joiko zur Entwicklung des HINT mit männlichem Sprecher in Tabelle 10 gegenübergestellt und mit einem Einstichproben t-Test verglichen (Joiko, 2019).

Für die Kopfhörer- Konditionen Noise Left ($p < 0,001$), den Noise Composite Score ($p = 0,04$) und die Ruhekondition ($p = 0,041$) wurde ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte der SRT der beiden Studien mit dem männlichen HINT-Sprecher festgestellt. Die Mittelwerte dieser Studie sind um 0,98 dB SNR (NL), 0,25 dB SNR (NCS) bzw. 1,07 dB (Ruhe) zu signifikant niedrigeren (besseren) Sprachverständlichkeitsschwellen, im Vergleich zu den Normwerten von Joiko, verschoben (Tabelle 10).

Die mittlere SRT der Konditionen Noise Front (Test) und Noise Right beim HINT mit männlichem Sprecher unterscheiden sich hingegen nicht signifikant von den Normwerten von Joiko et al. ($p \geq 0,05$).

Auch die neu bestimmten Normwerte für den HINT mit weiblicher Sprecherin unterscheiden sich nicht signifikant von den Normwerten des HINT mit männlichem Sprecher ($p \geq 0,05$).

Tabelle 10, Vergleich der Mittelwerte der SRT [dB SNR] bzw. [dB] der verschiedenen Konditionen des weiblichen und männlichen HINT dieser Studie mit den Normwerten von Joiko (Joiko et al. 2019)

Kondition	MW weiblicher HINT	Normwerte männlicher HINT Joiko et al. 2019	MW männlicher HINT
NF(Test) [dB SNR]	-6,07	-5,97	-5,81
NR [dB SNR]	-14,19	-13,83	-14,13
NL [dB SNR]	-14,20	-13,75	-14,73* ($p < 0,001$)
Ruhe [dB]	19,09	19,35	18,28* ($p = 0,041$)
NCS [dB SNR]	-10,12	-9,88	-10,13* ($p = 0,04$)

*signifikant, da $p < 0,05$

In Abbildung 16 ist die Abweichung der erzielten SRT der einzelnen Probanden vom Mittelwert der Studie der Kondition NF (Test) beim männlichen HINT als Balkendiagramm dargestellt. Die minimale Abweichung beträgt 0,09 dB für Proband 10, die maximale Abweichung 1,49 dB für Proband 22.

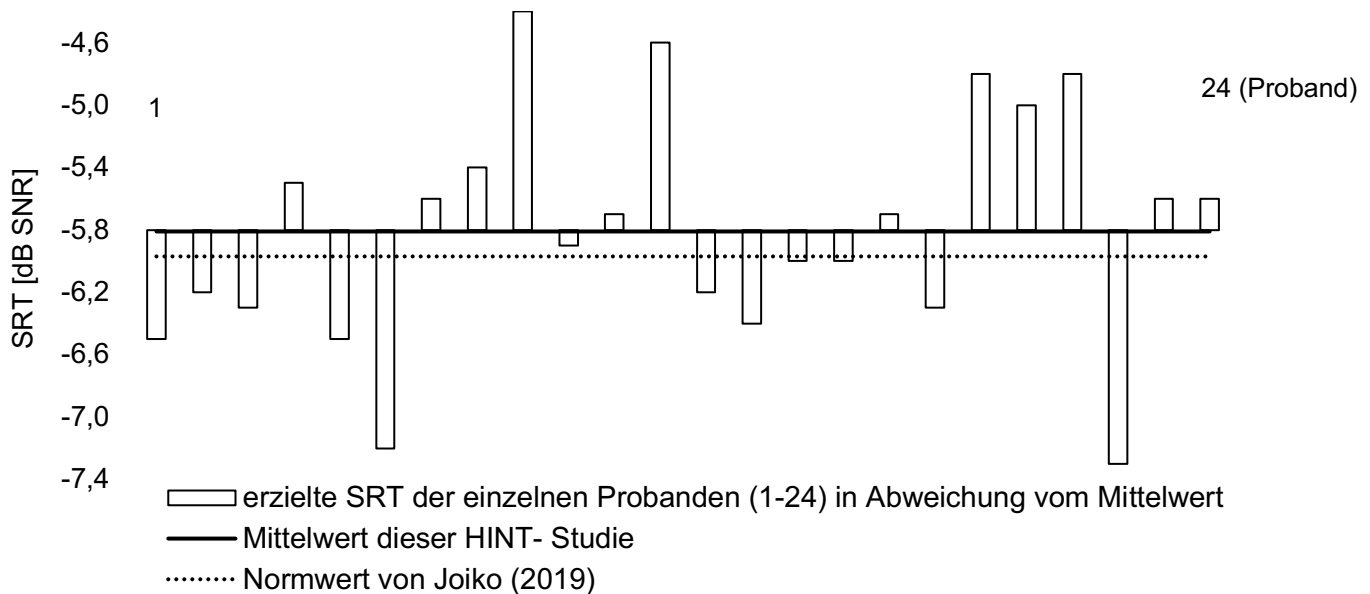


Abbildung 16, Balkendiagramm der erzielten SRT [dB SNR] der einzelnen Probanden der Kondition NF (Test) beim männlichen HINT, dargestellt als Abweichung vom arithmetischen Mittelwert aller Probanden
n = 24, zusätzlich ist der Normwert von Joiko angegeben (Joiko et al., 2020)

In Tabelle 11 sind die Perzentilen, welche anhand des Mittelwerts und der Standardabweichung der ermittelten Normwerte der jeweiligen Testkondition berechnet wurden sowie der H-Score des deutschsprachigen HINT mit weiblicher Sprecherin, angegeben.

Tabelle 11, Perzentilen und H-Score des deutschsprachigen HINT mit weiblicher Sprecherin

Perzentile	2,5	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97,5
H-Score	51	59	68	79	83	87	94	100	106	113	117	121	132	141	149
Ruhe (MW= 19,1 SD= 2,4)															
SRT [dB]	23,8	23,0	22,2	21,1	20,7	20,3	19,7	19,1	18,5	17,8	17,5	17,1	16,0	15,1	14,4
Veränderung Verständlichkeit [%]	-47%	-39%	-31%	-20%	-16%	-13%	-6%	0%	6%	13%	16%	20%	31%	39%	47%
Störgeräusch von vorne (MW= 6,1 SD= 1,0)															
SRT [dB SNR]	-4,1	-4,4	-4,8	-5,2	-5,4	-5,5	-5,8	-6,1	-6,3	-6,6	-6,8	-6,9	-7,4	-7,7	-8,1
Veränderung Verständlichkeit [%]	-20%	-17%	-13%	-9%	-7%	-5%	-3%	0%	3%	5%	7%	9%	13%	17%	20%
Störgeräusch von rechts (MW= 14,2 SD= 1,2)															
SRT [dB SNR]	-11,9	-12,3	-12,7	-13,2	-13,4	-13,6	-13,9	-14,2	-14,5	-14,8	-15,0	-15,2	-15,7	-16,1	-16,4
Veränderung Verständlichkeit [%]	-23%	-19%	-15%	-10%	-8%	-6%	-3%	0%	3%	6%	8%	10%	15%	19%	23%
Störgeräusch von links (MW= -14,2 SD= 1,6)															
SRT [dB SNR]	-11,2	-11,7	-12,2	-12,9	-13,2	-13,4	-13,8	-14,2	-14,6	-15,0	-15,2	-15,5	-16,2	-16,7	-17,2
Veränderung Verständlichkeit [%]	-30%	-25%	-20%	-13%	-10%	-8%	-4%	0%	4%	8%	10%	13%	20%	25%	30%
Noise Composite Score (MW= -10,1 SD= 0,5)															
SRT [dB SNR]	-9,1	-9,2	-9,4	-9,7	-9,8	-9,8	-10,0	-10,1	-10,3	-10,4	-10,5	-10,6	-10,8	-11,0	-11,2
Veränderung Verständlichkeit [%]	-11%	-9%	-7%	-5%	-4%	-3%	-1%	0%	1%	3%	4%	5%	7%	9%	11%

Zur besseren internationalen Vergleichbarkeit der Daten des weiblichen und männlichen deutschsprachigen HINT erfolgt in Abbildung 17 und 18 eine grafische Gegenüberstellung der SRT Werte der Kondition Noise Front sowie des Noise Composite Scores mit den Daten von Vermiglio (2008) zum amerikanisch-englischen HINT (Vermiglio, 2008). Ausgehend von den angegebenen Mittelwerten der SRT in dB, werden die Änderungen der Verständlichkeit in Prozent als lineare Funktion (inklusive der Funktionsgleichung), dargestellt (näheres siehe Kapitel 5.3.1).

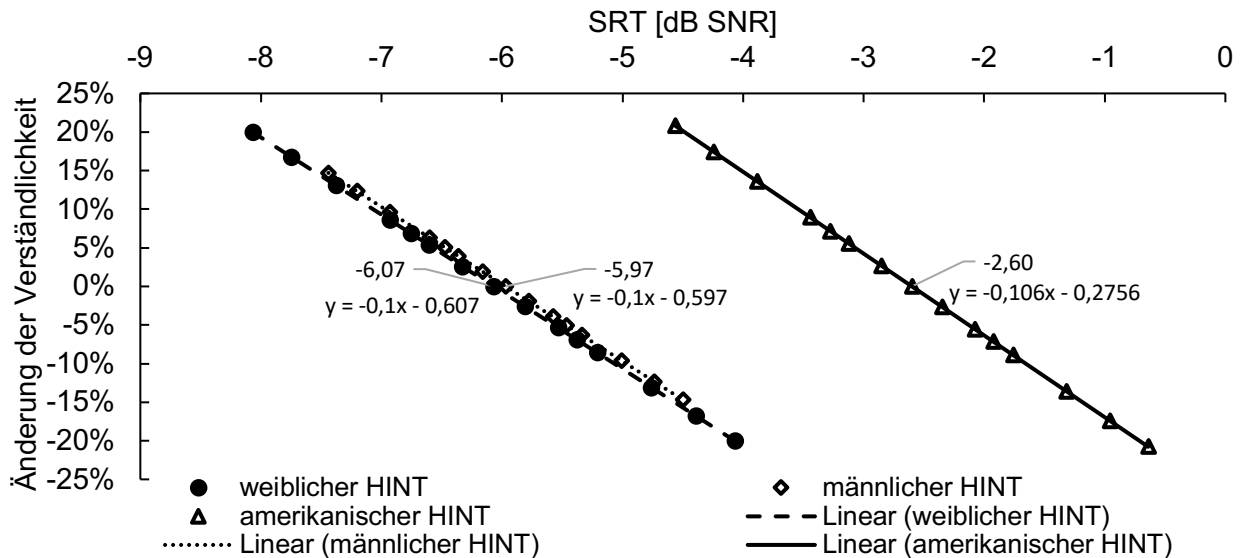


Abbildung 17, Darstellung der Werte für die Kondition Noise Front für den weiblichen und männlichen deutschsprachigen HINT sowie den amerikanisch-englischen HINT SRT [dB SNR] gegenüber der Änderung der Verständlichkeit [%] zusätzlich ist der MW (Normwert) sowie die Funktionsgleichung der jeweiligen HINT-Daten der drei HINT-Versionen angegeben

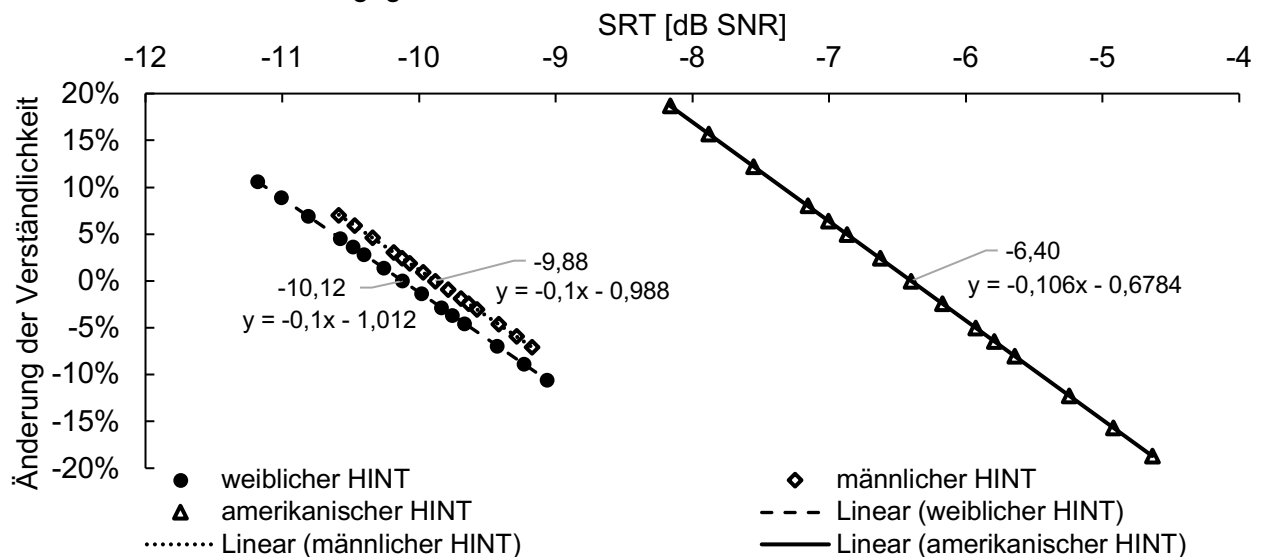


Abbildung 18, Darstellung des Noise-Composite Scores für den weiblichen und männlichen deutschsprachigen HINT sowie den amerikanisch-englischen HINT SRT [dB SNR] gegenüber der Änderung der Verständlichkeit [%] zusätzlich ist der MW (Normwert) sowie die Funktionsgleichung der jeweiligen HINT-Daten der drei HINT-Versionen angegeben

4.3.2 OLSA

In Tabelle 12 und Abbildung 19 sind die Ergebnisse der erzielten Sprachverständlichkeitswerte der normalhörenden Probanden beim OLSA dargestellt.

Tabelle 12, Sprachverständlichkeitsschwelle [dB SNR] der beiden OLSA Konditionen

Kondition	SRT [dB SNR]		
	Mittelwert $\pm$ SD	Maximum	Minimum
Training	-5,08 $\pm$ 0,80	-8,10	-4,10
Test	-5,80 $\pm$ 0,83	-8,90	-4,50
Normwerte von Wagener et al. (1999b, c)	-7,1 $\pm$ 1,1 (zwischen den Probanden) bzw. $\pm$ 0,2 (zwischen den Listen)		

Der Mittelwert der SRT beträgt beim Trainingsdurchgang -5,08 dB SNR und beim Testdurchgang -5,80 dB SNR. Beide Mittelwerte unterscheiden sich deutlich vom Normwert von Wagener et al. mit -7,1 dB SNR. Der Mittelwert der Test Kondition ist um 1,3 dB SNR (absolute Differenz), im Vergleich zum Normwert von Wagener et al., zu einer positiveren Sprachverständlichkeitsschwelle verschoben.

Beim Wilcoxon-Test einer Stichprobe wurde ein hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) zwischen dem Mittelwert der Test Kondition und dem Normwert von Wagener et al. festgestellt.

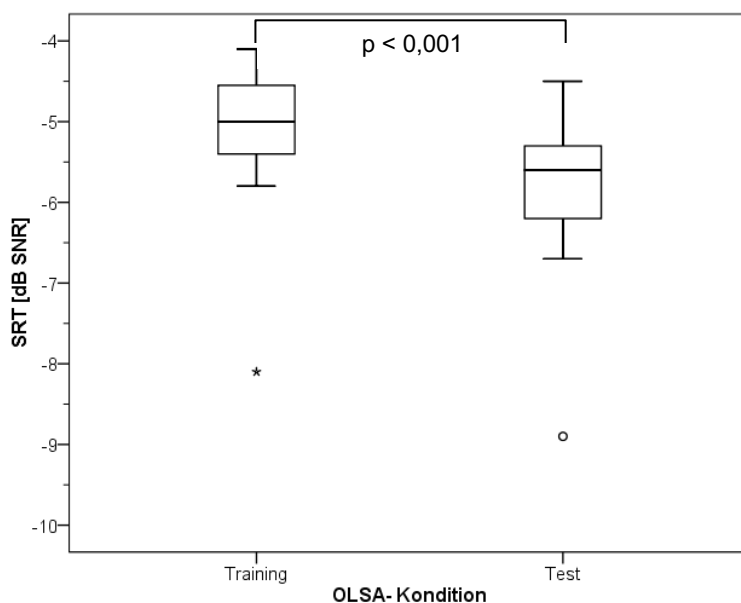


Abbildung 19, Boxplot der SRT [dB SNR] der beiden OLSA Konditionen

Der Boxplot zeigt den Median, das 1ste und 3te Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte. Ausreißer sind mit ° und Extremwerte mit * eingezeichnet. (n = 24)

Zur Auswertung eines möglichen Trainingseffekts wurde, aufgrund der nicht vorhandenen Normalverteilung der SRT-Werte der Test Kondition ($p = 0,023$ und damit $p < 0,05$) ein paarweiser Vergleich mithilfe des Wilcoxon-Tests, durchgeführt.

Es wurde ein hoch signifikanter Unterschied zwischen dem Trainings- und Testdurchgang festgestellt ($p < 0,001$ (1-seitig)). Nach Cohen wird der Effekt eines Trainingsdurchgangs auf die erzielte SRT des folgenden Testdurchgangs einer starken Effektstärke ($r = 0,56$) zugeordnet (Cohen, 1988).

Durch das Training wird demnach in der folgenden Test Messung eine signifikant bessere SRT ermittelt.

Die Auswertung der Sprachverständlichkeitsschwelle getrennt nach dem Geschlecht der Probanden in Tabelle 13, ergab für die weiblichen Probandinnen für beide OLSA Konditionen mit -4,93 dB SNR (Training) bzw. -5,65 dB SNR (Test) Mittelwerte der SRT, welche im Vergleich zu den Mittelwerten des Gesamtkollektivs zu positiveren Werten verschoben sind. Die Mittelwerte der SRT der männlichen Probanden verhalten sich mit -5,23 dB SNR (Training) bzw. -5,96 dB SNR (Test) dem entgegen. Sie sind im Vergleich zum Gesamtkollektiv zu negativeren Werten verschoben.

Tabelle 13, SRT der beiden OLSA Messungen [dB SNR] getrennt nach dem Geschlecht der Probanden

Probanden- Geschlecht	n = Anzahl	Kondition	SRT [dB SNR]	
			Mittelwert	SD
weiblich	12	Training	-4,93	0,57
		Test	-5,65	0,57
männlich	12	Training	-5,23	0,99
		Test	-5,96	1,03

Der deskriptive Unterschied der ermittelten SRT-Werte zwischen den beiden Probanden- Geschlechtern ist statistisch jedoch nicht signifikant (p-Wert des Mann-Whitney-U-Test mit $p = 0,843$ und damit $\geq 0,05$).

4.3.3 Vergleich der SRT von weiblichem und männlichem HINT mit dem OLSA

Für den Vergleich der Sprachverständlichkeitsschwelle zwischen dem HINT mit weiblicher Sprecherin, männlichem Sprecher und dem OLSA wurden verschiedene statistische Tests durchgeführt.

Dabei wurden die folgenden Konditionen miteinander verglichen:

HINT NF Test (weibliche Sprecherin)	↔	OLSA Test (männlicher Sprecher)
HINT NF Test (männlicher Sprecher)	↔	OLSA Test (männlicher Sprecher)
HINT NCS (weibliche Sprecherin)	↔	OLSA Test (männlicher Sprecher)
HINT NCS (männlicher Sprecher)	↔	OLSA Test (männlicher Sprecher)
HINT NF Test (weibliche Sprecherin)	↔	HINT NCS (weibliche Sprecherin)
HINT NF Test (männlicher Sprecher)	↔	HINT NCS (männlicher Sprecher)
HINT NF Test (weibliche Sprecherin)	↔	HINT NF Test (männlicher Sprecher)
HINT NCS (weibliche Sprecherin)	↔	HINT NCS (männlicher Sprecher)

Mithilfe des Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten wurde der Zusammenhang zwischen der SRT der beiden HINT-Verfahren und des OLSA, unabhängig vom Geschlecht der Probanden, aber in Abhängigkeit vom Geschlecht des Sprechers, untersucht.

Für beide HINT-Sprecher besteht ein starker, gleichsinniger Effekt zwischen der SRT der NF Test Kondition und dem errechneten Noise Composite Score (Spearman-Korrelationskoeffizient $r_s = 0,63$ (weibliche Sprecherin) bzw. $r_s = 0,74$ (männlicher Sprecher)).

Dieser Zusammenhang kann, aufgrund eines p-Werts mit $p = 0,001$ für die weibliche Sprecherin und $p < 0,001$ für den männlichen Sprecher signifikant bzw. hoch signifikant, beschrieben werden.

Beim HINT mit der weiblichen Sprecherin und dem männlichen Sprecher gilt demnach, dass ein hoher Sprachverständlichkeitswert der Kondition mit dem Störgeräusch von vorne auch mit einem hohen Noise Composite Score einhergeht (und umgekehrt). Eine grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 20 mittels Streudiagramm mit Ausgleichsgrade.

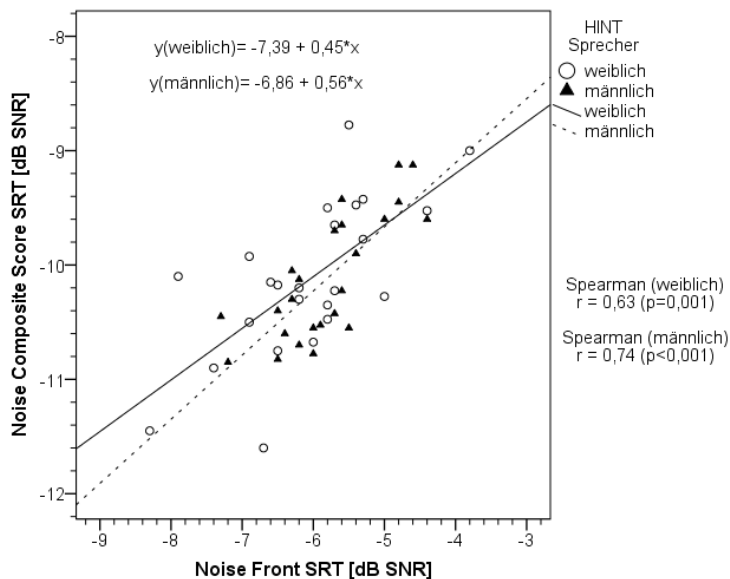


Abbildung 20, Streudiagramm mit Ausgleichsgrade der Korrelation der SRT [dB SNR] der HINT Kondition NF und des Noise Composite Score getrennt für die weibliche Sprecherin und den männlichen Sprecher

zusätzlich sind die Korrelationsgleichungen sowie Spearman- Korrelationskoeffizienten r und die p -Werte angegeben

Zwischen der erzielten SRT der NF Kondition bei der weiblichen Sprecherin und dem männlichen Sprecher ist ein gleichsinniger ($r_s = 0,46$) und signifikanter ($p = 0,024$ und damit $p < 0,05$) Zusammenhang vorhanden.

Bei der Kondition NF geht ein niedriger SRT-Wert bei der weiblichen Sprecherin des HINT auch mit einem niedrigeren SRT-Wert beim männlichen Sprecher einher (und umgekehrt). Nach Cohen wird der Effekt als mittelstark beschrieben (Cohen, 1988).

Ein signifikanter Zusammenhang, zwischen den beiden Noise Composite Scores sowie zwischen der SRT der HINT-Konditionen und dem OLSA, konnte nicht festgestellt werden.

Zusätzlich erfolgte mithilfe des Mann-Whitney-U-Test eine Auswertung der SRT der oben genannten Konditionen des HINT und OLSA in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden. Alle p -Werte lagen mit $p \geq 0,05$ außerhalb des Signifikanzniveaus. Bei beiden HINT-Methoden sowie beim OLSA ist demnach kein signifikanter Unterschied der erzielten Sprachverständlichkeit zwischen den weiblichen Probandinnen und männlichen Probanden vorhanden.

4.4 Ergebnisse der sprachaudiometrischen Tests, Probanden und Probandinnen mit Cochlea Implantat

4.4.1 HINT

In Tabelle 14 sowie grafisch in Abbildung 21 sind die Daten der erzielten Sprachverständlichkeitswerte der verschiedenen Konditionen beim HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher für die CI-Probanden dargestellt.

Tabelle 14, Sprachverständlichkeitsschwelle [dB SNR] bzw. [dB] der verschiedenen Konditionen beim HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher

		Training	Test	Testwiederholung	Ruhe
Weibliche Sprecherin	Mittelwert	0,79	-0,57	-0,09	38,59
	SD	2,13	1,97	1,79	2,02
	Maximum	-2,8	-3,4	-2,7	34,9
	Minimum	3,9	2,5	2,9	40,7
Männlicher Sprecher	Mittelwert	0,46	-0,45	-0,55	36,65
	SD	2,96	2,02	2,00	3,36
	Maximum	-3,1	-2,6	-2,9	31,5
	Minimum	6,3	3,4	2,7	42,3

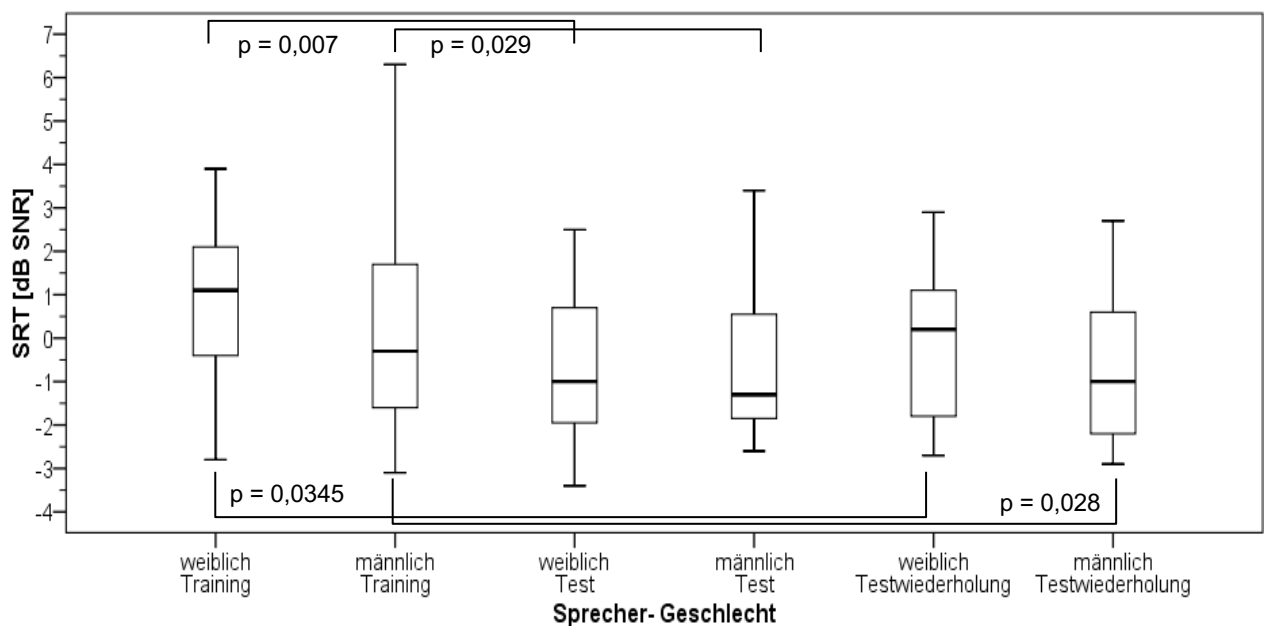


Abbildung 21, Boxplot der SRT [dB SNR] für die Konditionen Training, Test und Testwiederholung getrennt nach dem Geschlecht des HINT-Sprechers

Der Boxplot zeigt den Median, das 1ste und 3te Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte. (n = 11)

Es ist deskriptiv zu erkennen, dass die CI-Probanden, unabhängig von der Kondition, beim männlichen Sprecher bessere Sprachverständlichkeitswerte im Vergleich zur weiblichen Sprecherin, erzielen. Die Differenz zwischen den Mittelwerten der SRT der beiden Sprecher ist bei der Ruhe Kondition mit 1,95 dB am größten und bei der Test Kondition im Störgeräusch vorne mit 0,12 dB SNR am geringsten.

Aufgrund der vorhandenen Normalverteilung mit $p \geq 0,05$ wurde zur Auswertung eines möglichen Trainingseffekts, zwischen den Konditionen Training und Test bzw. Training und Testwiederholung, ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Auch hier wurde eine gerichtete, einseitige Analyse mit der Annahme einer besseren Sprachverständlichkeit beim Test- bzw. Testwiederholungsdurchgang, im Vergleich zum Trainingsdurchgang, durchgeführt.

Rein deskriptiv ist der Mittelwert des zweiten HINT Durchgangs (Test Kondition) bei der weiblichen Sprecherin um 1,36 dB SNR und beim männlichen Sprecher um 0,91 dB SNR zu einer negativeren SRT verschoben (Tabelle 14). Der genannte Unterschied zwischen den Mittelwerten kann, aufgrund eines ermittelten p-Werts mit $p < 0,05$ (weibliche Sprecherin $p = 0,007$ bzw. männlicher Sprecher $p = 0,029$), als statistisch signifikant beschrieben werden. Auch die Einordnung anhand der Effektstärke Cohens d bestätigt dies. Bei der weiblichen Sprecherin ist ein großer ($d = 0,91$) und beim männlichen Sprecher ein mittlerer Effekt ($d = 0,65$) zwischen den Sprachverständlichkeitswerten des Trainings- und Testdurchgangs vorhanden (Cohen, 1988).

Zwischen den Konditionen Training und Testwiederholung ist ein mittlerer Effekt der erzielten SRT nach Cohen mit $d = 0,61$ bei der weiblichen Sprecherin bzw. $d = 0,65$ beim männlichen Sprecher festzustellen (Cohen, 1988). Dieser Unterschied gilt als statistisch signifikant (weibliche Sprecherin $p = 0,0345$ bzw. männlicher Sprecher $p = 0,028$ und damit $p < 0,05$).

Bei beiden HINT-Sprechern erreichen die CI-Probanden nach einem ersten Trainingsdurchgang in den beiden folgenden Testdurchgängen eine signifikant bessere Sprachverständlichkeit im Vergleich zum genannten Trainingsdurchgang.

Die Sprachverständlichkeitswerte der Konditionen Test und Testwiederholung unterscheiden sich hingegen bei beiden Sprechern nicht signifikant voneinander ($p = 0,225$ (weibliche Sprecherin) bzw. $p = 0,808$ (männlicher Sprecher) und damit $p \geq 0,05$ (zweiseitig)).

Zusätzlich wurde, mithilfe eines t-Test für unabhängige Stichproben, ein Vergleich der erzielten Sprachverständlichkeit der ersten und dritten HINT-Messung eines jeden Probanden, in Abhängigkeit vom Geschlecht des dort eingesetzten HINT-Sprechers, durchgeführt. Sechs CI-Probanden begannen bei den Studienmessungen mit dem HINT mit weiblicher Sprecherin, während fünf CI-Probanden zunächst den HINT mit männlichem Sprecher absolvierten.

Für die erste HINT-Messung konnte mit $p = 0,019$ und damit $p < 0,05$ ein signifikanter Unterschied der erzielten Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom Geschlecht des Sprechers festgestellt werden. Eine grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 22.

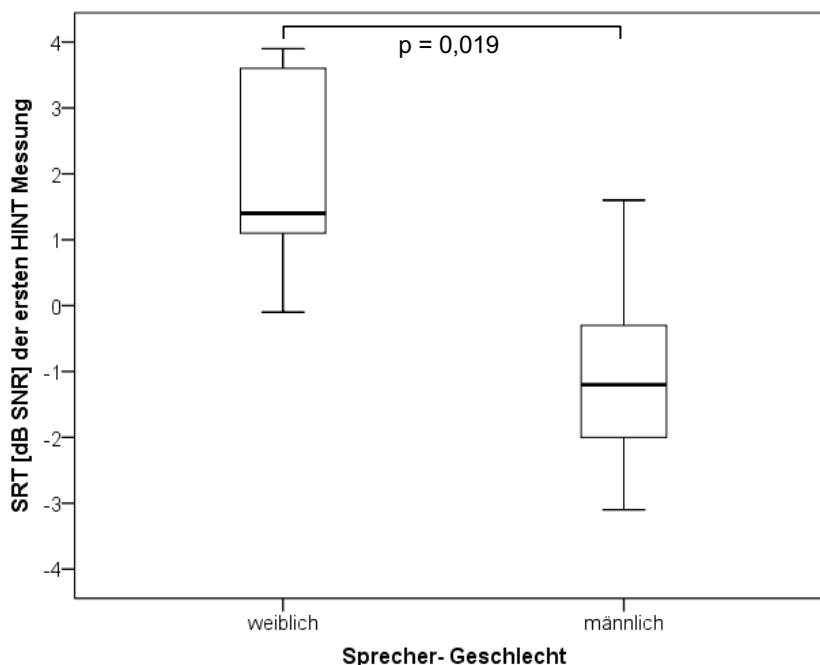


Abbildung 22, Boxplot der Sprachverständlichkeitsschwelle [dB SNR] der ersten HINT-Messung eines jeden Probanden getrennt nach dem Geschlecht des Sprechers
Der Boxplot zeigt den Median, das 1ste und 3te Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte. ($n = 11$)

Die Probanden, welche die erste HINT-Messung mit der weiblichen Sprecherin absolvierten, erzielten mit einer mittleren SRT von 1,88 dB SNR eine schlechtere Sprachverständlichkeit im Vergleich zu den Probanden, welche die erste Messung mit dem männlichen Sprecher absolvierten. Die zuletzt genannten CI-Probanden erreichten eine mittlere SRT von -1,00 dB SNR. Der Einflussfaktor des Geschlechts des Sprechers auf die SRT der ersten HINT-Messung kann nach Cohen mit $r=0,69$ als starker Effekt gewertet werden (Cohen, 1988).

Die Sprachverständlichkeitswerte der dritten durchgeführten Messung (der ersten

Test Kondition) unterschieden sich hingegen nicht signifikant ($p = 0,346$) zwischen den beiden Sprechern (mittlere SRT bei der weiblichen Sprecherin $-0,67$ dB SNR bzw. beim männlichen Sprecher $-1,22$ dB SNR).

4.4.2 OLSA

Die Ergebnisse der OLSA Satztestmessung der CI-Träger sind in Tabelle 15 sowie grafisch in Abbildung 23 dargestellt.

Tabelle 15, Sprachverständlichkeitsschwelle [dB SNR] der beiden OLSA Konditionen

Kondition	SRT [dB SNR]			
	Mittelwert $\pm$ SD	Median	Maximum	Minimum
Training	$0,97 \pm 3,68$	-0,2	-2,4	8,2
Test	$-0,33 \pm 2,09$	-1,0	-2,9	3,9

Der Mittelwert des Testdurchgangs beträgt $-0,33$ dB SNR und ist im Vergleich zum Trainingsdurchgang mit $0,97$ dB SNR zu einer niedrigeren SRT verschoben.

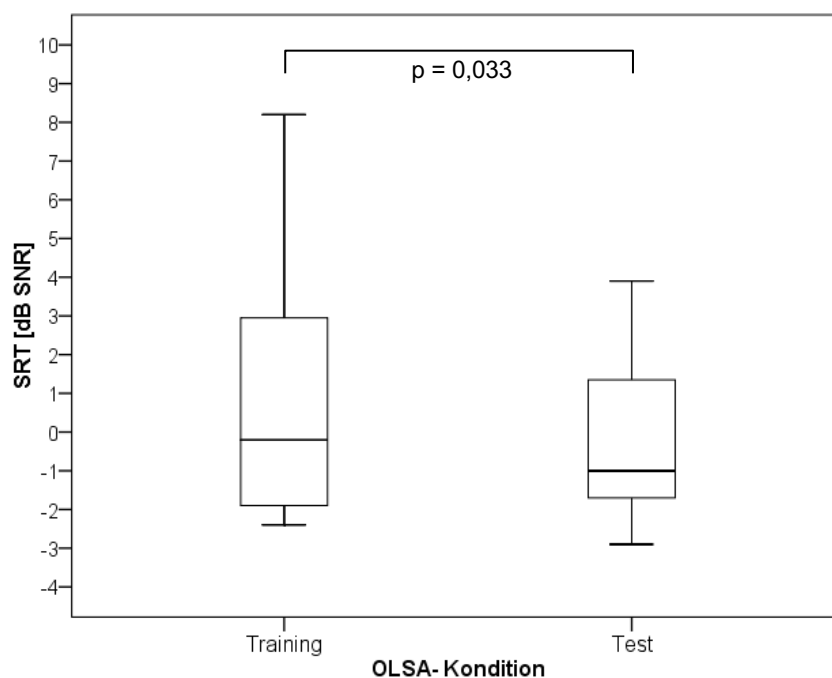


Abbildung 23, Boxplot der SRT [dB SNR] der beiden OLSA Konditionen

Der Boxplot zeigt den Median, das 1ste und 3te Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte. ($n = 11$)

Zur Analyse eines möglichen Trainingseffekts zwischen der ersten und zweiten Messung wurde ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Der ermittelte p-Wert des t-Test beträgt $p = 0,033$ (1-seitig, und damit $p < 0,05$). Damit ist ein signifikanter und laut Cohen mit $d=0,62$ mittelstarker Unterschied zwischen dem Trainings- und Testdurchgang vorhanden (Cohen, 1988).

Nach Durchführung eines ersten Trainingsdurchgangs erreichen die CI-Träger eine signifikant bessere Sprachverständlichkeit im folgenden Testdurchgang des OLSA.

4.4.3 Vergleich der SRT von weiblichem-, männlichem HINT mit dem OLSA und dem Freiburger Sprachtest

Für den Vergleich der Sprachverständlichkeit zwischen dem HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher, dem OLSA und dem Freiburger Sprachtest wurden die folgenden Konditionen beachtet:

HINT Test (weibliche Sprecherin)	↔	OLSA Test (männlicher Sprecher)	↔	Freiburger Sprachtest Wörter (männlicher Sprecher)
HINT Test (männlicher Sprecher)	↔	OLSA Test (männlicher Sprecher)	↔	Freiburger Sprachtest Wörter (männlicher Sprecher)
HINT Test (weibliche Sprecherin)	↔	HINT Test (männlicher Sprecher)		

Mithilfe des Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten wurde der Zusammenhang zwischen der erreichten Sprachverständlichkeit der vier sprachaudiometrischen Testverfahren untersucht. Zusätzlich wurden die erreichten SRT-Werte beim HINT in Abhängigkeit vom Geschlecht des Sprechers verglichen.

Es wurde ein starker, gleichsinniger Effekt zwischen der erreichten Sprachverständlichkeit der beiden HINT-Sprecher und dem OLSA ermittelt. Der Spearman-Korrelationskoeffizient beträgt zwischen weiblichem HINT und OLSA $r_s = 0,64$ und zwischen männlichem HINT und OLSA $r_s = 0,68$. Der Zusammenhang wird aufgrund eines p-Werts mit $p = 0,033$ (weiblicher HINT - OLSA) bzw. $p = 0,022$ (männlicher HINT - OLSA) als signifikant beschrieben.

Zwischen der Test Kondition der beiden HINT-Sprecher lässt sich ein starker, gleichsinniger (Spearman-Korrelationskoeffizient $r_s = 0,71$) und signifikanter Zusammenhang ($p = 0,015$ und damit $p < 0,05$) feststellen.

Ein Proband, der eine bessere Sprachverständlichkeit beim HINT mit der weiblichen Sprecherin erzielt, erreicht auch beim HINT mit männlichem Sprecher sowie beim OLSA eine bessere Sprachverständlichkeit (und umgekehrt).

Ein signifikanter Zusammenhang oder eine Korrelation zu den Ergebnissen des Freiburger Sprachtest konnten nicht festgestellt werden.

Die beschriebenen Korrelationen werden in Abbildung 24 in Form eines Streudiagramms mit Ausgleichsgrade grafisch verdeutlicht.

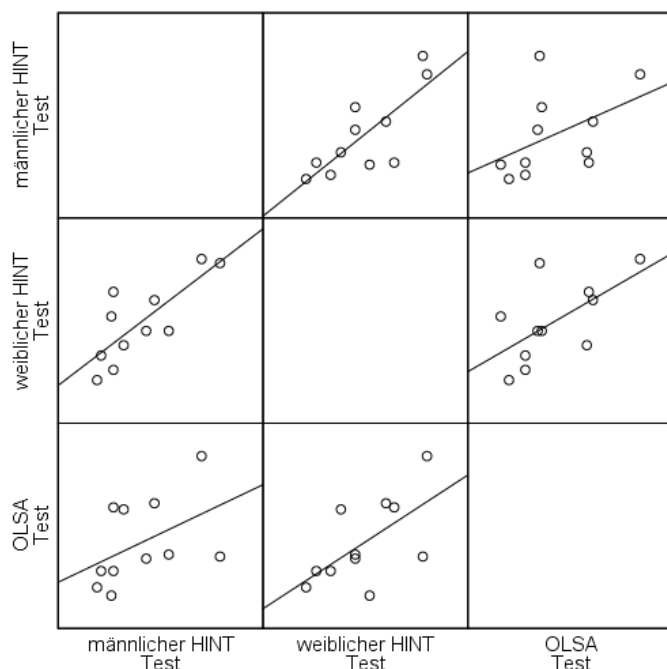


Abbildung 24, Streudiagramm mit Ausgleichsgrade der Korrelation der Sprachverständlichkeit [dB SNR] von weiblichem HINT, männlichem HINT und dem OLSA

Tabelle 16, SRT des HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher, des OLSA und des Freiburger Sprachtest (Wörter) getrennt nach dem Geschlecht der CI-Probanden

Probanden-Geschlecht	n = Anzahl	Kondition	Sprachverständlichkeit Mittelwert $\pm$ SD
weiblich	6	weiblicher HINT Test	-1,48 $\pm$ 1,64 [dB SNR]
		männlicher HINT Test	-1,78 $\pm$ 0,84 [dB SNR]
		OLSA Test	-1,42 $\pm$ 1,52 [dB SNR]
		Freiburger Sprachtest	90,83 $\pm$ 13,57 [% Verständlichkeit]
männlich	5	weiblicher HINT Test	0,52 $\pm$ 1,89 [dB SNR]
		männlicher HINT Test	1,14 $\pm$ 1,86 [dB SNR]
		OLSA Test	0,98 $\pm$ 2,03 [dB SNR]
		Freiburger Sprachtest	87,00 $\pm$ 9,74 [% Verständlichkeit]

Bei der deskriptiven Auswertung der erreichten SRT, getrennt nach dem Geschlecht der Probanden in Tabelle 16, fällt auf, dass die weiblichen CI-Trägerinnen bei allen vier sprachaudiometrischen Testverfahren eine bessere Sprachverständlichkeit, im Vergleich zu den männlichen Probanden, erzielten.

Der deskriptive Unterschied zwischen den Geschlechtern der Probanden ist für den HINT mit männlichem Sprecher ($p = 0,009$) und dem OLSA ($p = 0,03$ und damit $< 0,05$) statistisch signifikant. Die gegenübergestellten Boxplots der beiden Geschlechter in Abbildung 25 unterstreichen den ermittelten signifikanten Unterschied.

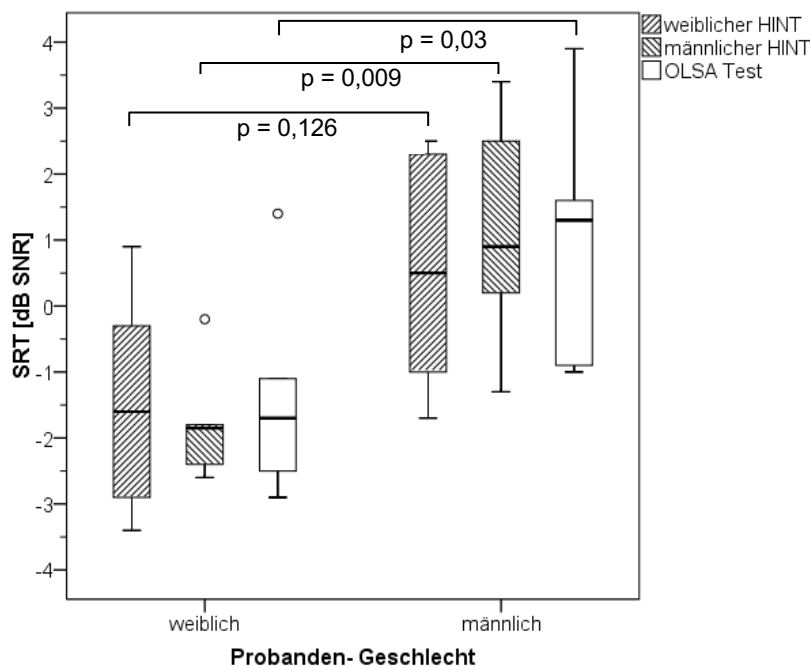


Abbildung 25, Boxplot der SRT [dB SNR] der Testkonditionen beim HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher sowie beim OLSA getrennt nach dem Geschlecht der Probanden

Der Boxplot zeigt den Median, das 1ste und 3te Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte. Ausreißer sind mit ° eingezeichnet. ($n = 11$)

Die erzielten Sprachverständlichkeitswerte der weiblichen Probandinnen und männlichen Probanden unterscheiden sich, bei der Testkondition des HINT mit männlichem Sprecher und beim OLSA, signifikant voneinander. Die Effektstärke kann, laut Cohen mit $r = 0,77$ für den männlichen HINT und dem OLSA mit $r = 0,66$, als stark beschrieben werden (Cohen, 1988). Die weiblichen CI-Trägerinnen erreichen demnach bei den beiden Testverfahren mit männlichen Sprechern eine signifikant bessere Sprachverständlichkeit im Vergleich zu den männlichen CI-Trägern.

5 DISKUSSION

5.1 Entwicklung des HINT mit weiblicher Sprecherin

Durch den neu-evaluierten HINT mit weiblicher Sprecherin wurde den Empfehlungen des International Collegium of Rehabilitative Audiology, zur Konstruktion eines multilingualen Sprachverständlichkeitstests mit einer weiblichen Sprecherin, nachgegangen. Der HINT wurde inklusive der deutschsprachigen Version bislang „multilingual“, in 24 Sprachen entwickelt. Auch die Empfehlung der ICRA, der Wahl einer im Einsprechen von Sprachmaterial ungeübten Sprecherin, die über eine natürliche, akzentfreie Aussprache verfügt, wurde bei der Entwicklung des HINT mit weiblicher Sprecherin beachtet. Eine ausführliche Analyse der Stimmcharakteristik und akustisch-phonetischen Eigenschaften der weiblichen Sprecherin erfolgt, vergleichend mit dem männlichen Sprecher des HINT, in Kapitel 5.4.2. Auch der empfohlene Vergleich des neuen Testverfahrens, mit einem klinisch etablierten Verfahren, wurde durch die Integration des OLSA in das Testprozedere realisiert (Akeroyd et al., 2015).

Mit der Entwicklung der HINT-Version mit weiblicher Sprecherin wurde zusätzlich die nach Sharma et al. einzige konzeptionelle Limitation des HINT, der in vielen Sprachen nur mit einem männlichen Sprecher verfügbar ist, überwunden (Sharma et al., 2017).

Kritisch zu beachten ist, dass die von der ICRA genannten Anforderungen lediglich Empfehlungen des Konsens eines internationalen Expertengremiums sind und nur unvollständig, anhand empirischer Evidenz, begründet werden können (Akeroyd et al., 2015, Smits, 2016). Zur Validierung des HINT mit weiblicher Sprecherin, seiner Einordnung als standardisiertes sprachaudiometrisches Testverfahren sowie internationalen Vergleichbarkeit, sollten deshalb weitere Studien durchgeführt werden.

Auch Kinder ab 6 Jahren profitieren vom neu evaluierten Testverfahren. Schirkonyer et al. zeigten in ihrer Studie zum neuen Mainzer Sprachtest für 3- bis 7-Jährige mit einer weiblichen Sprecherin den Vorteil einer weiblichen Stimme für kinderaudiometrische Testverfahren. Ursächlich wird die Lage der Grundfrequenz der weiblichen Stimme zwischen der männlichen und kindlichen Stimme angegeben (Schirkonyer et al., 2019). Zum Einsatz des HINT für Kinder ab 6 Jahren, sollten dazu die bereits in

der Arbeit von Joiko erwähnten Anpassungen des Testmaterials und Testprozederes sowie weitere Studien durchgeführt werden (Joiko, 2019).

5.2 Gegenüberstellung der Testmethodik von HINT und OLSA

Im folgenden Kapitel, werden die beiden Testverfahren HINT und OLSA hinsichtlich ihrer Durchführbarkeit, ihres Testmaterials sowie ihrer gewählten Einstellungen und Testkonditionen, kritisch gegenübergestellt.

Die Messungen beider Testverfahren wurden in der Studie mit 20-Satz-Listen durchgeführt. Wagener et al. empfehlen zum Erreichen einer hohen Validität beim OLSA jedoch den Einsatz der 30-Satz-Listen. Die eingeschränkte Messgenauigkeit der OLSA Daten stellt sich auch, in der von den NH-Probanden erreichten Standardabweichung, dar. Diese liegt beim OLSA mit 0,83 dB SNR außerhalb der von Wagener et al. als anzustrebend genannten Messgenauigkeit von 0,5 dB SNR. Der Schwerpunkt dieser Studie lag jedoch auf dem Vergleich von HINT und OLSA. Die eingeschränkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse des OLSA dieser Studie, mit den Daten anderer Studien, wurde durch den Verzicht der Verwendung der 30-Satz-Listen in Kauf genommen (Wagener et al., 1999c).

Während der OLSA sowohl als offener, als auch als geschlossener, automatisierter Test durchgeführt werden kann, ist der HINT nur als offener, nicht automatisierter Test durchführbar. Der Untersucher muss die wiederholten Sätze der Probanden subjektiv bewerten. Das Risiko einer Phonemverwechslung besteht damit sowohl für die gesprochenen Wörter des Probanden als auch für die Verständlichkeit und Interpretation der Wörter durch den Untersucher. Bei geschlossenen Verfahren wählt der Proband die Antwort hingegen selbständig aus einer Liste an Antwortmöglichkeiten aus. Das Testergebnis ist unabhängig vom Untersucher. Die Objektivität geschlossener Verfahren ist, gegenüber offenen Verfahren, erhöht. Dennoch konnten Brand et al. in ihrer Studie zum OLSA keinen Unterschied der erzielten Sprachverständlichkeit von offener gegenüber geschlossener Antwortmethodik feststellen (Brand et al., 2004).

Der OLSA wurde aufgrund seines begrenzten Wortschatzes oftmals auch als „semi-offenes“ Testverfahren bezeichnet. Die Testmethodik eines Matrixtest schließt die Wiederholung eines gewissen Anteils an Wörtern nicht aus. Auch in dieser Studie fiel vereinzelt bei den NH-Probanden, aber vor allem bei den CI-Trägern auf, dass

einzelne Wörter aufgrund des begrenzten und schnell zu erlernenden Wortschatzes erraten wurden. Vor allem die verwendeten Namen, welche aus einer Datenbank von Mackensen aus den 70er Jahren entstammen, sind für jüngere Probanden nicht mehr so geläufig und daher recht prägnant und einprägsam. Die Phonem- und Häufigkeitsverteilung der Basisliste des OLSA entspricht der mittleren Phonemverteilung der deutschen Sprache. Allerdings bezieht sich auch diese auf mittlerweile veraltete und deutlich überholte Referenzdaten (Meier, 1964, Mackensen, 1969). Der deutschsprachige HINT wurde 2019 entwickelt. Das Sprachmaterial kann daher als zeitgemäß eingeordnet werden. Der Wortschatz entspricht dem eines sechsjährigen Kindes, sodass dieser als einfach und gut verständlich bewertet werden kann. Eine Analyse der Ausgewogenheit der Phonemverteilung der Sätze und Listen, sowie ein Vergleich mit der Phonemverteilung der deutschen Sprache, wurde bislang nicht durchgeführt. Dies sollte wie auch bereits von Joiko gefordert, in weiteren Studien angeschlossen werden (Joiko, 2019).

Der wichtigste Unterschied zwischen dem Sprachmaterial von OLSA und HINT besteht in dem semantischen Aufbau der Sätze. Der OLSA besteht, wie bereits in Kapitel 2.3 erwähnt, aus semantisch nicht vorhersagbaren Sätzen. Er umfasst eine feste Syntax und Grammatik und verfügt teilweise über einen verminderten Sinngehalt. Der HINT besteht aus „natürlich“ klingenden, sinnbehafteten Sätzen, sowie einem offenen Wortschatz. Sein Satzaufbau variiert durch verschiedene grammatikalische Zeitformen und Numeri der Verben und Substantive. Genannte Eigenschaften des Sprachmaterials des HINT stellen einen wichtigen Einflussfaktor auf die erzielte Sprachverständlichkeit dar.

Wenn auch nur subjektiv durch die Untersucherin festgestellt, wurden beim HINT ähnlich der Studie von Züst und Tschopp, vereinzelt Wörter nur aufgrund des Kontextbezugs eines Satzes richtig wiedergegeben (Züst und Tschopp, 1995). Auch häufig vorkommende Wörter wurden, ähnlich der Studie von Gerhand und Barry, schneller erkannt als nicht so häufig vorkommende Wörter (Gerhand und Barry, 1999). Beispielsweise werden die Wörter „Kinder“ 18-mal und „Mutter“ 14-mal deutlich häufiger, im Vergleich zu „Farbe“ 1-mal und „Familie“ 5-mal, verwendet.

Ergänzender Kritikpunkt am Sprachmaterial des HINT umfasst die Verwendung von leicht zu verwechselnden Wörtern wie beispielsweise „Keller und Teller“, „Maus und

Haus“ oder „Kuchen und duschen“, die bereits bei minimaler Unkonzentriertheit des Probanden einen Einfluss auf deren Sprachverständlichkeit haben können.

Ob ein Wort erraten oder richtig verstanden wurde, kann in beiden Studienprotokollen nicht dokumentiert werden. Das Erraten von eigentlich nicht verstandenen Wörtern beeinflusst die SRT negativ, in dem diese zu vermeintlich negativeren Sprachverständlichkeitswerten verschoben wird.

Müller-Deile empfiehlt die Listen des OLSA frühestens nach einem Jahr zu wiederholen (Müller-Deile, 2009). Studien zum langfristigen Lerneffekt des HINT stehen noch aus. Erst dann kann abschließend beurteilt werden, ob das Sprachmaterial des HINT bei gehäufte Verwendung, beispielsweise im Prozess der CI-Anpassung, einen Vorteil gegenüber dem begrenzten Wortschatz des OLSA hat.

Rudner et al. zeigten, dass die kognitive Fähigkeit und Leistung des Arbeitsgedächtnis einen größeren Einfluss auf die erzielte Sprachverständlichkeit beim Hagerman-Test im Vergleich zum HINT hat. Dem gegenüber spielen bei Alltagssätzen erlernte linguistische Fähigkeiten eine größere Rolle. Mit zunehmendem Alter wachsen linguistische und kontextbezogene Fähigkeiten, während die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnis abnimmt. Welches der beiden Testverfahren damit als vorteilhaft bei älteren Probanden angesehen werden kann, bleibt unklar und sollte durch Studien mit älteren Probanden näher untersucht werden (Rudner et al., 2011, Meister, 2017).

Der Störgeräuschpegel dieser Studie wurde, aufgrund der Ergebnisse der Studie von Müller-Deile zu Untersuchungsverfahren der Sprachverständlichkeit von CI-Trägern, auf 65 dB SPL festgelegt. Ein fester Störgeräuschpegel hat laut Autor eine größere Alltagsrelevanz im Vergleich zu einem festen Sprachsignalpegel (Müller-Deile, 2009). Die Forderung von Hey et al., nach Durchführung von sprachaudiometrischen Messungen, auch bei niedrigeren Schalldruckpegel von 50 bis 59 dB, blieb unbeachtet. Weiterführende Studien sollten auch die genannten niedrigeren Schalldruckpegel, welche auch im alltäglichen Hörumfeld von CI-Trägern von Relevanz für das Sprachverstehen sind, beachten (Hey et al., 2018).

Beim Vergleich der Methodik von OLSA und HINT sind die gewählten Testkonditionen zu beachten. Im Freifeld muss der Einfluss individueller akustischer Effekte des Raums berücksichtigt werden. Für jeden Raum sollten und müssen individuelle Normwerte bestimmt werden (Vermiglio, 2008, Soli und Wong, 2008). Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der NH-Probanden des OLSA, ermittelt im Freifeld, und des

HINT, ermittelt sowohl im Freifeld als auch mit Kopfhörern, ist deshalb eingeschränkt. Die individuellen HINT-Messungen mit Kopfhörern der NH sowie die Daten der CI-Träger können dahingegen innerhalb des Probandenkollektivs verglichen werden. Für zukünftige vergleichende Studien verschiedener Testverfahren wird demzufolge eine einheitliche Wahl des Präsentationsmodus empfohlen. Auch sollten weitere Evaluationen der räumlichen Rahmenbedingungen und Schallakustik durchgeführt werden, um eine Vergleichbarkeit der für HG-/ CI-Träger vorteilhaften Freifeldmessungen, auch an unterschiedlichen Studienorten, zu ermöglichen.

Für eine vollständige, objektive Beurteilung von Einschränkungen der Kommunikationsfähigkeit im sprachlichen Alltag ist laut Soli und Wong bzw. Soli die Untersuchung der Sprachverständlichkeit in Ruhe, im Störgeräusch sowie mit und ohne räumliche Trennung von Sprach- und Störsignal von Bedeutung (Soli und Wong, 2008, Soli, 2008). Bei den gewählten HINT-Konditionen der NH-Probanden wurde dieser Forderungen nachgegangen (Soli und Wong, 2008).

Chan et al. zeigten in ihrer HINT-Studie mit bilateral versorgten CI-Trägern den Nutzen von binauralen Mechanismen, beispielsweise von Kopfschatteneffekten, Squelch- und Summationseffekten sowie der räumlichen Trennung von Sprach- und Störsignalen für das binaurale Hören im Störgeräusch (Chan et al., 2008). Dennoch blieb der Einfluss binauraler Sprachverarbeitungsstrategien bei der Wahl der HINT-Konditionen der CI-Träger in dieser Studie unbeachtet. Zu hoch wäre der zeitliche Umfang und die Anforderung an die Konzentrationsfähigkeit der Probanden gewesen. Die NH-Probanden empfanden das gewählte Studienprotokoll als anstrengend und ermüdend, sodass sich bei den CI-Trägern für ein kürzeres Protokoll entschieden wurde.

Der Schwerpunkt der Studie lag bei beiden Probandenkollektiven auf dem Vergleich der drei Testverfahren der Kondition im Sprach- und Störsignal von vorne sowie dem Einfluss der akustisch-phonetischen Eigenschaften der Sprecher auf die Sprachverständlichkeit. Der Effekt und die Bedeutung des binauralen Hörens beim deutschsprachigen HINT für CI-Träger, sollte in nachfolgenden Studien betrachtet werden, zumal die Einflussnahme der aktuellen Sprachprozessoren und Codierungsstrategien der Cochlea Implantate auf das binaurale Hören noch nicht gänzlich geklärt scheint (Rader et al., 2013).

5.2.1 Ausblick

Die klinischen Teststandards der Sprachaudiometrie setzen sich, trotz vielfacher Kritik, aus dem Freiburger Sprachtest, dem Göttinger Satztest und dem OLSA zusammen. Viele Autoren fordern die Überarbeitung und zeitgemäße Anpassung der klinischen Standards verbunden mit einem stärkeren Einbezug sprachaudiometrischer Satztestverfahren im Störgeräusch (Vermiglio et al., 2012, Hoppe und Hast, 2017, Hoppe et al., 2019, Brand und Wagener, 2017, Kießling et al., 2017, Kießling, 2000). Vermiglio et al. fordern beispielsweise die Integration des HINT in den Prozess der Beurteilung der Hörfähigkeit sowie der Indikationsstellung und Anpassung einer Hörhilfenversorgung (Vermiglio et al., 2012). Bislang werden auch in Deutschland Satztestverfahren bei der Indikationsstellung von Hörgeräten und Cochlea Implantaten nicht beachtet (Gemeinsamer Bundesausschuss, 2018).

Auch die Studie von Hoppe et al. mit CI-Trägern fordert den zusätzlichen Einbezug weiterer audiometrischer Messgrößen in die CI-Beratung und Indikationsstellung. Dabei beziehen sich die Autoren auf das mit dem Freiburger Sprachtest ermittelte maximale Einsilberversprechen. Genanntes kann präoperativ, in 96 % der Fälle zur individuellen Vorhersage des zu erwartenden postoperativen minimalen Sprachverstehen, genutzt werden. Bei Hörgeschädigten mit eingeschränktem, aber vorhandenem präoperativen Sprachverstehen besteht ein geringes Risiko der postoperativen Verschlechterung des Sprachverstehens nach CI-Versorgung. Durch Einbindung weiterer sprachaudiometrischer Messgrößen, wie beispielsweise des maximalen Einsilberversprechen, könnte zukünftig die Indikationsstellung zur CI-Versorgung individueller und kritischer gestellt werden (Hoppe et al., 2019).

Das alltägliche Sprachumfeld kann mittels eines einzigen Testverfahrens kaum abgebildet werden. Auch Brand und Wagener sprechen deshalb davon, dass im Idealfall mehrere Sprachverständlichkeitstests zur zusammenfassenden Beurteilung der Sprachverständlichkeit einbezogen werden. Auch sprachaudiometrische Testverfahren im Störschall sollten daher bei der Überprüfung, Anpassung und Optimierung von Hörhilfen eingeschlossen werden. Vor allem der OLSA kann, aufgrund seiner beliebigen Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit nach erfolgtem Training, sehr gut im Rahmen der postoperativen Prozesse der Hörgeräte und Cochlea Implantate eingesetzt werden.

Den Einfluss phonetischer und semantischer Merkmale auf die Sprachverständlichkeit untersuchten Keller et al. in ihrer Studie mittels neu generierter Listen bestehend aus fünf-Wort-Sätzen (die Wörter entstammen Sätzen des OLSA bzw. des OlakS, Oldenburger linguistisch und audiologisch kontrollierte Sätze). Die Autoren konnten die Unabhängigkeit der erzielten Sprachverständlichkeit, der vom Satzkontext und Syntax losgelösten Wort-Sätze, aufzeigen. Durch Austausch der verwendeten Wörter kann das Testmaterial flexibel angepasst und erweitert werden. Vor allem in der langfristigen Betreuung von CI-Trägern könnte genanntes Listenmaterial daher zukünftig eine Rolle spielen (Keller et al., 2016).

Dennoch sollten auch syntaktisch kontrollierte Satztestverfahren in den klinischen Alltag integriert werden. Neben einer effizienteren Bestimmung der Sprachverständlichkeit, ohne umfassendes Training, stellen sie das alltägliche Sprachumfeld besser dar.

Der HINT als Satztestverfahren kann zwischen dem Göttinger Satztest und dem HSM-Satztest eingeordnet werden. Die Sprechgeschwindigkeit seines männlichen Sprechers ist mit 251 Silben/ min langsamer im Vergleich zum Göttinger Satztest mit 279 Silben/ min, sein Wortmaterial einfach und zeitgemäß, der Schwierigkeitsgrad der Sätze ausgeglichen und er kann im Gegensatz zum HSM-Satztest als adaptiver Test durchgeführt werden. Ob der von Harianawala et al. herausgefundene minimale Vorteil des amerikanischen HINT gegenüber dem AEMT bei der Registrierung auch kleinster Unterschiede der Sprachverständlichkeit auf die deutschsprachigen Versionen von HINT und OLSA übertragen werden kann, sollte im Rahmen weiterer vergleichender Studien analysiert werden.

Die Empfehlung von Harianawala et al., für jeden Probanden individuell, aufgrund der Vielzahl an Einflussfaktoren und Variablen der Testverfahren, eines von jenen auszuwählen, stellt ein mögliches Konzept für die Zukunft dar. Zu beachtende Einflussfaktoren sind neben der Indikation, dem Ziel des Tests und den Rahmenbedingungen auch die bereits hier bzw. von Hoppe und Hast erwähnten linguistischen, semantischen sowie kognitiven Fähigkeiten des zu Untersuchenden. Auch der mögliche Schweregrad der Sprachverständlichkeitsstörung sollte bei der Auswahl des Testverfahrens und dessen Methodik berücksichtigt werden (Harianawala et al., 2019, Hoppe und Hast, 2017).

5.3 Beurteilung der Ergebnisse

5.3.1 Normalhörende Probanden und Probandinnen

Zum Erreichen differenzierter Messergebnisse benötigen Sprachverständlichkeitstest im Störgeräusch, im Vergleich zu Testverfahren in Ruhe, eine höhere Messgenauigkeit. Ursächlich ist nach Brand und Kollmeier sowie Brand und Wagener der meist geringere Unterschied der Sprachverständlichkeitsschwelle bei verschiedenen Probanden erzielt unter Störgeräusch-, im Vergleich zu Ruhebedingungen. Eine Standardabweichung unter 1 dB SNR zwischen verschiedenen akustischen Konditionen oder Probandenkollektiven ist laut den genannten Autoren, zum Erreichen einer hohen Messgenauigkeit, anzustreben (Brand und Kollmeier, 2002, Brand und Wagener, 2017).

Bei den NH-Probanden liegen die Standardabweichungen der SRT der Störgeräuschmessungen des HINT in einem Bereich von 0,75 dB SNR (männlicher HINT, NF Test Kondition) bis 1,55 dB SNR (weiblicher HINT, NL Kondition). Bei der Testmessung des OLSA beträgt die Standardabweichung 0,83 dB SNR. Es kann daher von einer ausreichend vorhandenen Messgenauigkeit aller drei Messverfahren im Störgeräusch ausgegangen werden.

Anhand der Perzentilen und des H-Scores (Tabelle 11 sowie Abbildung 17 und 18, Kapitel 4.3.1.2) können die Ergebnisse der deutschsprachigen weiblichen HINT-Version mit den HINT-Versionen anderer Sprachen verglichen werden (Soli und Wong, 2008).

Beim Vergleich der mittels H-Score erstellten linearen Funktionen (Abbildung 17 und 18, Kapitel 4.3.1.2) der Kondition Noise Front und des Noise Composite Scores der weiblichen und männlichen deutschsprachigen HINT-Version sowie des amerikanisch-englischen HINT von Vermiglio (2008) fällt auf, dass sich die Normwerte der deutschsprachigen Versionen deutlich von den Normwerten von Vermiglio unterscheiden. Die absoluten Differenzen betragen 3,72 bzw. 3,48 dB SNR (NF) sowie 3,47 bzw. 3,37 dB SNR (NCS), die Steigungen der Änderung der Verständlichkeit der Funktionen sind dennoch vergleichbar ($\sim 0,1$ Änderung der Verständlichkeit/ %). Es bestätigt sich damit die Möglichkeit des sprachübergreifenden Vergleichs der HINT-Ergebnisse über den H-Score.

Die erzielten Ergebnisse des HINT mit männlichem Sprecher können mit den Normdaten von Joiko verglichen werden. Bei der Test Kondition im Störgeräusch von

vorne (-5,81 dB SNR versus -5,97 dB SNR (Joiko)) sowie der Kondition im Störgeräusch von rechts (-14,13 dB SNR versus -13,83 dB SNR (Joiko)) ist kein signifikanter Unterschied zu den männlichen Normdaten vorhanden. Die erhobenen Ergebnisse der SRT in Ruhe, der Kondition im Störgeräusch von links sowie der Noise Composite Score unterscheiden sich hingegen signifikant von den Daten von Joiko (Tabelle 10, Kapitel 4.3.1.2). Die absoluten Differenzen zwischen den SRT-Mittelwerten betragen 1,1 dB (Ruhe) 0,98 dB SNR (NL), sowie 0,25 dB SNR (NCS).

Zur Generierung der Normdaten mit dem männlichen Sprecher wurden je nach Kondition zwischen 20 und 30 NH-Probanden eingeschlossen (näheres siehe Tabelle 12: Normwerte männlicher Sprecher in der Dissertation von Joiko). Jede der vier Konditionen (Ruhe, Störgeräusch von vorne, rechts und links), wurde bei jedem Probanden dreimal durchgeführt. Abzüglich ausgeschlossener Daten, wurden von Joiko je nach Kondition 40 bis 91 Ergebnisdaten generiert (Joiko, 2019).

In die hier präsentierte HINT-Studie wurden 24 Probanden eingeschlossen. Aufgrund des gewählten Studiendesign wurden die vier genannten Konditionen der beiden HINT-Verfahren nur einmal mit jedem Probanden durchgeführt. Es wurden 24 Ergebnisdaten je Kondition generiert. Die unterschiedliche Anzahl an Ergebnisdaten, kann ursächlich für die signifikante Abweichung der Mittelwerte der oben genannten Konditionen sein. Die von den männlichen Normdaten abweichenden Mittelwerte dieser Studie sind alle zu signifikant niedrigeren (und damit besseren) Sprachverständlichkeitsschwellen verschoben (siehe Tabelle 10, Kapitel 4.3.1.2). Trotz gleicher Einschlusskriterien und damit vergleichbarer eingeschlossener Probandenkollektive Normalhörigkeit, einem mittleren Altersdurchschnitt innerhalb dieser Studie von 26,8 Jahren versus Joiko von 26,7 Jahren und dem studentischen beruflichen Hintergrund der meisten Probanden scheinen interindividuelle Unterschiede der Probanden, einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf die Sprachverständlichkeit, zu haben (Joiko, 2019, Joiko et al., 2020).

Die neu bestimmten SRT Normwerte für den HINT mit weiblicher Sprecherin unterscheiden sich hingegen bei allen evaluierten Konditionen nicht signifikant von den von Joiko ermittelten Normwerten des HINT mit männlichem Sprecher (näheres zum Vergleich beider Sprecher siehe Kapitel 5.4.2) (Joiko, 2019).

Beim statistischen Vergleich der erzielten Verständlichkeit der PI-Funktion lässt sich bei den SNR-Werten -2 dB und -4 dB ein signifikanter Unterschied zwischen den Daten des weiblichen und männlichen HINT feststellen. Nur die Mittelwerte beim SNR-

Wert von -7 dB unterscheiden sich nicht signifikant (siehe Kapitel 4.3.1.1). Dennoch können die Steigungen der polynominalen PI-Funktion des weiblichen und männlichen HINT, in der Region um 75 % Verständlichkeit mit 8,84 %/ dB und 8,94 %/ dB als vergleichbar eingeordnet werden (Abbildung 11, Kapitel 4.3.1.1). Genannte Steigungen sind etwas flacher im Vergleich zu der von Soli und Wong ermittelten mittleren Steigung der PI-Funktion der 13 anderen Sprachen von 10,3 %/ dB ($SD \pm 1,5\%/ dB$), liegen aber dennoch innerhalb des Bereichs der ersten Standardabweichung um deren Mittelwert (Soli und Wong, 2008). Dabei muss beachtet werden, dass für den deutschsprachigen HINT der Referenzwert der Zielverständlichkeit zur Anpassung der Schwierigkeit der Sätze auf 75 % statt auf 70 % festgelegt wurde. Begründet wird dies anhand der niedrigeren (negativeren) SNR-Werte der deutschsprachigen PI-Funktionen im Vergleich zu den Daten und Funktionen von Soli und Wong (Joiko et al., 2020, Joiko, 2019, Soli und Wong, 2008). Weiter waren die Messungen, welche der PI-Funktion des weiblichen HINT zugrunde lagen, Teil des Anpassungsprozesses an die Schwierigkeit der einzelnen Sätze. Die Verständlichkeit der PI-Funktion der deutschsprachigen HINT-Versionen wurde in Form der Relation Wörter/ Satz in Prozent bestimmt, während die PI-Funktionen der anderen HINT Sprachen mittels der Methodik der Satzverständlichkeit ermittelt wurden (Soli und Wong, 2008, Joiko et al., 2020, Joiko, 2019). Zur detaillierteren Bestimmung der Steigung der Diskriminationsfunktion der deutschsprachigen HINT-Versionen sollten deshalb ergänzende Studien, mit den finalen Sätzen und ihrer Zuordnung zu den jeweiligen Listen, angeschlossen werden.

Der genannte Vorbehalt sollte auch beim Vergleich der Steigungen der HINT-Funktionen mit den Steigungen des OLSA bzw. der mittleren Steigung von 14 Matrixtests anderer Sprachen von Kollmeier et al. beachtet werden. Die steilere Steigung der Matrixtests (OLSA mit 17,1 %/ dB sowie die mittlere Steigung der 14 anderen Sprachen mit 15 %/ dB) gegenüber den genannten deutschsprachigen HINT Steigungen von 8,84 %/ dB (weiblich) und 8,94 %/ dB (männlich) lässt sich über die homogene Wortauswahl sowie der individuellen Anpassung der Wortübergänge der Matrixsätze begründen (Kollmeier et al., 2015).

Ein internationaler Vergleich der HINT-Ergebnisse mit den Daten anderer Sprachen erfolgt über die Daten der Studie von Soli und Wong sowie der schwedischen HINT Studie von Hällgren et al. (Hällgren et al., 2006, Soli und Wong, 2008).

Ähnlich der Normdaten von Joiko weichen auch die HINT Normdaten der weiblichen Sprecherin der Konditionen im Störgeräusch von vorne, rechts und links vom Mittelwert der 13 vergleichenden Sprachen der Studie von Soli und Wong ab. Die Mittelwerte des männlichen Sprechers weichen um 1,91 dB SNR (NF), 2,93 dB SNR (NR) bzw. 3,43 dB SNR (NL) vom errechneten Mittelwert der 13 Sprachen ab, die Mittelwerte der weiblichen Sprecherin um 2,17 dB SNR (NF), 2,99 dB SNR (NR) bzw. 2,9 dB SNR (NL) (absolute Differenz). Die SRT-Werte dieser Studie sind alle zu niedrigeren Sprachverständlichkeitswerten verschoben.

Beim Vergleich der Testkondition im Störgeräusch von vorne mit dem Noise Composite Score je HINT-Sprecher wurde ein starker, gleichsinniger Effekt ermittelt. Der NCS wird, wie in Kapitel 3.3.3 erwähnt, anhand der drei Konditionen im Störgeräusch, berechnet. Eine Korrelation der Ergebnisse ist demnach zu erwarten. Auch die beiden NCS dieser Studie sind im Vergleich zum Mittelwert des NCS der 13 Sprachen von Soli und Wong zu niedrigeren Sprachverständlichkeitswerten verschoben (männlicher Sprecher -10,13 dB SNR, weibliche Sprecherin -10,12 dB SNR im Vergleich zum errechneten MW von Soli und Wong -7,6 dB SNR) (Soli und Wong, 2008).

Die Ergebnisse der Ruhemessungen weisen auch in dieser Studie, ähnlich den Ergebnissen von Joiko, Nilsson et al. und Soli und Wong, die größte Streuung auf. Sie liegen bei 18,28 dB (Ruhe HP, männlicher HINT) und 19,09 dB (Ruhe HP, weiblicher HINT) und damit im Streubereich um den Mittelwert (HP) von 18,4 dB (SD 3,5 dB) der vergleichenden Sprachen von Soli und Wong (Soli und Wong, 2008, Nilsson et al., 1994, Joiko et al., 2020).

Auch im Vergleich zum Mittelwert des ebenfalls mit einer weiblichen Sprecherin evaluierten schwedischen HINT von Hällgren et al. mit -3,0 dB SNR, ist der Mittelwert der Kondition im Störgeräusch von vorne des deutschsprachigen weiblichen HINT mit -6,07 dB SNR zu einem negativieren SRT-Wert verschoben. Die Einschlusskriterien des Probandenkollektivs beider Studien waren sehr ähnlich. Dennoch unterscheiden sich die Sprachverständlichkeitswerte. Die Studie von Hällgren et al. wurde mit 10 normalhörenden Probanden mit einem Durchschnittsalter von 21,3 Jahren durchgeführt. Alle Probanden wurden mit dem gesamten Sprachmaterial (25 Listen je 10 Sätze) getestet. Diese drei Faktoren unterscheiden sich zur Studie des deutschsprachigen HINT, bei welchem 24 Probanden eingeschlossen wurden, deren

Durchschnittsalter 26,8 Jahre betrug und bei denen immer nur ein Teil des Sprachmaterials für die Messungen verwendet wurde. Diese Unterschiede können für die Diskrepanz der SRT-Daten des schwedischen und deutschen HINT mit weiblichen Sprecherinnen verantwortlich sein.

Für die Testkondition im Störgeräusch von vorne lässt sich eine mittelstarke, gleichsinnige Korrelation von weiblichem und männlichem HINT feststellen. Ein Proband, der bei genannter Kondition beim weiblichen HINT eine niedrige SRT erreicht, erreicht auch beim männlichen HINT niedrige SRT-Werte. Eine Korrelation mit dem OLSA wurde nicht festgestellt. Das Sprachmaterial scheint demnach einen größeren Einfluss auf die Sprachverständlichkeit, im Vergleich zum Geschlecht des Sprechers des sprachaudiometrischen Testverfahrens, zu haben (zur Analyse des Einflusses des Sprechergeschlechts siehe Kapitel 5.4.2).

Der Vergleich der Ergebnisse des OLSA mit den Normdaten von Wagener et al. ist kritisch einzuordnen. Die Daten der Testkondition des OLSA sind nicht normalverteilt und wurden im Vergleich zu den Testbedingungen von Wagener et al. im Freifeld und nicht wie die genannten Normdaten mit Kopfhörern erhoben. Zusätzlich absolvierten die Probanden lediglich ein Training, bestehend aus einer Liste mit 30 Sätzen, während die Probanden von Wagener et al. ein umfangreiches Training mit sechs Testlisten je 20 Sätzen absolvierten. Genannte Faktoren können eine Erklärung für den signifikanten Unterschied des Mittelwerts des OLSA dieser Studie von -5,80 dB SNR (SD 0,83 dB) zum Normwert von Wagener et al. von -7,1 dB SNR (SD 1,1 dB) liefern (Wagener et al., 1999c).

5.3.2 Cochlea Implantat-Träger und -Trägerinnen

Bei den CI-Trägern liegt die Standardabweichung der Testkondition aller drei Testverfahren bei ~2 dB SNR (weiblicher HINT 1,97 dB, männlicher HINT 2,00 dB und OLSA 2,09 dB). Die Messgenauigkeit der drei Testverfahren ist laut Brand und Kollmeier bzw. Brand und Wagener als vermindert einzuordnen (Brand und Kollmeier, 2002, Brand und Wagener, 2017). Auch bei den CI-Trägern ist bei den Ruhemessungen des HINT die größte Streuung der Ergebnisse (SD 2,02 dB, weiblicher HINT und SD 3,36 dB, männlicher HINT) festzustellen.

Der Ergebnisbereich der Testkondition des OLSA reicht von -2,9 dB SNR bis 3,9 dB SNR. Dieser ist vergleichbar dem Streuungsbereich der SRT einer Studie von

Hey et al. zum adaptiven OLSA mit CI-Trägern von -5 dB SNR bis 3 dB SNR (Re-test $\triangleq$ zweiten OLSA Durchgang). Der Mittelwert der Hey-Studie weicht mit -1,12 dB SNR jedoch vom Mittelwert dieser Studie mit -0,33 dB SNR ab. Hey et al. schlossen in ihre Studie mit 38 CI-Trägern mehr Probanden ein. Auch führten sie diese mit monaural versorgten CI-Trägern durch. Trotz gewählter Einschlusskriterien stellten Hey et al. einen signifikanten Unterschied der SRT der einzelnen CI-Träger fest. Eine einheitliche PI-Funktion, ähnlich der Funktion für Normalhörende von Wagener et al., kann für CI-Träger nicht erstellt werden (Wagener et al., 1999c). Als verantwortlich werden große interindividuelle Unterschiede der Probanden genannt. Zum Erreichen einer ausreichenden Reproduzierbarkeit des OLSA sei laut Wagener et al. eine SRT kleiner 2 dB SNR notwendig. Wäre genannter Wert als Grenzwert zum Einschluss der CI-Träger dieser Studie verwendet worden, hätte ein weiterer Proband ausgeschlossen werden müssen (Hey et al., 2014). Eine weitere Gruppierung des Probandenkollektivs wäre die Folge gewesen.

Beim Probandenkollektiv der CI-Träger besteht ebenso wie bei den Normalhörenden ein gleichsinniger Effekt zwischen der Testkondition des weiblichen und männlichen HINT. Zusätzlich korreliert auch der OLSA gleichsinnig mit beiden HINT-Verfahren. Ein CI-Träger, der beim weiblichen HINT eine gute Sprachverständlichkeit erreicht, erreicht auch beim männlichen HINT und OLSA bessere SRT-Werte. Das Sprachmaterial scheint bei den CI-Trägern keinen entscheidenden Einfluss auf die SRT darzustellen. Die CI-Träger waren, aufgrund der klinischen Relevanz des OLSA im Rahmen der routinemäßigen Überprüfung der Sprachprozessoren, bereits mit diesem bekannt und daher mit dessen Sprachmaterial und Testprozedere vertraut. Bei den NH-Probanden wurde der OLSA hingegen erstmalig im Rahmen dieser Studie durchgeführt. Die unzureichende Kenntnis des Sprachmaterials und Testprozederes stellt bei ihnen somit einen Einflussfaktor auf die Sprachverständlichkeit dar.

Auch wenn bei den CI-Trägern ein signifikanter Unterschied der erreichten Sprachverständlichkeitswerte von weiblichen Probandinnen und männlichen Probanden bei den beiden Testverfahren mit männlichem Sprecher festzustellen ist, sollte auch dieses Ergebnis immer kritisch und individuell im Kontext der Studie und eingeschlossenen Probanden betrachtet werden (näheres siehe Kapitel 5.4.1).

Bei den CI-Trägern hat bei der ersten durchgeführten HINT-Messung das Geschlecht des Sprechers einen signifikanten Einfluss auf die Sprachverständlichkeit. Der Mittelwert der SRT für den weiblichen HINT beträgt 1,88 dB SNR, während der Mittelwert beim männlichen Sprecher mit -1,00 dB SNR zu einer negativeren SRT verschoben und leichter zu verstehen ist. Die weitere Beurteilung des Einflusses des Geschlechts des Sprechers und eines möglichen Zusammenhangs der signifikant langsameren Sprechgeschwindigkeit des männlichen Sprechers mit 251 Silben pro Minute gegenüber der weiblichen Sprecherin mit 287 Silben pro Minute und der erzielten besseren Verständlichkeit des männlichen Sprechers, erfolgt in Zusammenschau mit anderen sprechervergleichenden Studien der Literatur in Kapitel 5.4.2.

5.3.3 Auswertung des Lerneffekts bei HINT und OLSA

Für beide Probandenkollektive konnte beim OLSA sowie beim weiblichen HINT ein signifikanter Trainingseffekt zwischen dem ersten und zweiten Messdurchgang festgestellt werden. Beim männlichen HINT wurde nur für die CI-Träger ein signifikanter Trainingseffekt ermittelt.

Bei den NH-Probanden beträgt die Differenz zwischen den Mittelwerten der beiden Messdurchgänge beim OLSA 0,72 dB SNR sowie beim weiblichen HINT 0,61 dB SNR. Beide Werte liegen damit etwas unterhalb des von Wagener et al. ermittelten Lerneffekts von 1 dB SNR zwischen den ersten beiden Listen (Wagener et al., 1999c). Beim männlichen HINT beträgt der absolute Lerneffekt (Differenz MW Trainings- zur Testmessung) 0,21 dB SNR.

Einen Erklärungsansatz für den geringen Lerneffekt der NH-Probanden könnten ihr junges Durchschnittsalter, sowie mutmaßlich hinreichende kognitive Fähigkeiten und eine schnelle Auffassungsgabe der Medizinstudierenden liefern.

Bei den CI-Trägern deutet die größere Differenz der SRT der Trainings- zur Testmessung von 1,3 dB SNR (OLSA), 0,91 dB SNR (männlicher HINT) und 1,36 dB SNR (weiblicher HINT) auf einen stärkeren Lerneffekt hin. Dieser bestätigt die Relevanz und Notwendigkeit eines Trainingsdurchgangs im Vorfeld vor dem eigentlichen Messdurchgang, vor allem bei Trägern einer Hörhilfe.

Zwischen der mittleren SRT des zweiten und dritten HINT-Durchgangs der CI-Träger ist kein signifikanter Unterschied feststellbar. Die Verwendung einer von Yund und Woods empfohlenen zweiten Trainingsliste hätte bei den CI-Trägern keinen weiteren

Effekt auf die Sprachverständlichkeitswerte erzielt (Yund und Woods, 2010). Wie auch Hällgren et al. für den schwedischen HINT aufzeigen, scheint auch beim deutschsprachigen HINT bei den CI-Trägern eine Trainingsliste ausreichend zu sein, um die zu Untersuchenden mit dem Sprachmaterial und Prozedere vertraut machen zu können (Hällgren et al., 2006).

Müller-Deile bestimmte in seiner Studie, anhand der Daten von 130 CI-Trägern über den Mittelwert der absoluten Differenz der SRT von einem Test- zu einem Testwiederholungsdurchgang, die Reproduzierbarkeit des OLSA. Die mittlere Test-Testwiederholungs-Abweichung betrug 0,76 dB SNR (Müller-Deile, 2009). Genannter Wert wurde auch für die CI-Träger dieser Studie ermittelt. Er beträgt beim weiblichen HINT 0,48 dB SNR und beim männlichen HINT -0,10 dB SNR.

Die dargestellten Beobachtungen stützen zusätzlich die These von Yund und Woods zum Einfluss des Lerneffekts bei Alltagssatz- und Matrixtestverfahren. Sowohl bei der absoluten Differenz der Trainings- zur Testmessung beider Probandenkollektive als auch beim Vergleich der Test-Testwiederholungs-Abweichung der CI-Träger mit den Daten von Müller-Deile, werden beim OLSA größere Werte im Vergleich zum HINT, ermittelt. Auch beim deutschsprachigen HINT als Alltagssatztest kommt dem Lerneffekt des Sprachmaterials und dem Kennenlernen des Testprozederes eine geringere Bedeutung im Vergleich zum OLSA zu (Yund und Woods, 2010). Der HINT ist demnach besser geeignet, die Sprachverständlichkeit in kurzer Zeit und ohne umfassendes Training, ermitteln zu können. Auch die Reproduzierbarkeit des HINT kann studienvergleichend etwas besser im Vergleich zum OLSA eingeordnet werden.

Studien zur genauen Bestimmung der Steigung der PI-Funktion des HINT sowohl mit Normalhörenden Probanden als auch mit CI-Trägern sollten angeschlossen werden, um dargestellte Beobachtungen weiter zu verfolgen. Auch weitere Studien zur notwendigen Anzahl von Trainingslisten, sowie zum repetitiven Trainingseffekt bei mehrfacher Verwendung von Testlisten, sollten angeschlossen werden.

5.4 Interpretation der Ergebnisse

Die Bedeutung der Testmethodik, des Sprachmaterials sowie kognitiver und linguistischer Fähigkeiten auf die Sprachverständlichkeit wurde bereits herausgearbeitet. Der Einfluss des gewählten Probandenkollektivs sowie sprecher- und sprachspezifische Eigenschaften wird nachfolgend erläutert.

5.4.1 Bewertung des Probandenkollektivs

Der Altersdurchschnitt des Probandenkollektivs der normalhörenden Probanden entspricht mit 26,82 Jahren dem Durchschnittsalter, bei welchem auch in der altersvergleichenden Studie verschiedener Probanden von Nábělek und Robinson die besten Sprachverständlichkeitswerte erreicht werden (Nábělek und Robinson, 1982). Die ermittelten Ergebnisse müssen jedoch kritisch im Kontext der geringen Anzahl an Probanden ($n = 24$) und der Information, dass alle Probanden Studierende der Medizin waren, betrachtet werden. Ältere Probanden bzw. Probanden mit einem anderen beruflichen Hintergrund wurden nicht in die Studie einbezogen. Ähnliche Kritikpunkte werden in der Studie von Wagener et al. zur Generierung der Normdaten des OLSA und einer Studie von Yoho et al. zur Untersuchung des Einflusses des Sprecher- und Probanden- Geschlechts auf die Sprachverständlichkeit eines Satztests im Störgeräusch aufgeführt. Auch ihre Studien wurden mit sehr selektiven Probandenkollektiven, bestehend aus Probanden, die mit akustischen Studien vertraut waren (Wagener et al.) oder bezüglich des Alters und Bildungshintergrunds als sehr homogen beschrieben wurden (Yoho et al.), durchgeführt (Wagener et al., 1999c, Yoho et al., 2019). Um die HINT-Daten im altersspezifischen Kontext beurteilen zu können, sollten weitere Studien, mit einem älteren Probandenkollektiv zur Evaluation entsprechender altersspezifischer Referenzwerte, durchgeführt werden. Durch das sehr homogene Probandenkollektiv der Normalhörenden werden von beiden Probandengeschlechtern, vergleichbar der Ergebnisse von Yoho et al., die gleichen Sprachverständlichkeitswerte erzielt (Yoho et al., 2019).

Auch das Kollektiv der CI-Träger wurde sehr selektiv ausgewählt. Trotz einer großen Altersspanne von 18 bis 84 Jahren, hatten die Probanden ein recht junges Durchschnittsalter von 39,27 Jahren. Es wurden ausschließlich beidseitig versorgte CI-Träger in die Studie eingeschlossen. Die Mehrzahl der in Deutschland CI-versorgten Menschen ist jedoch einseitig bzw. bimodal versorgt. Das gewählte Einschlusskrite-

rium wird mit der Bedeutung der bilateralen Versorgung für die Sprachverständlichkeit im Störschall begründet (Ernst et al., 2009, Gifford et al., 2015). Weiter wurden die CI-Probanden anhand vorheriger Ergebnisse des Freiburger Sprachtest sehr gezielt ausgewählt. Sie erreichten eine durchschnittliche Verständlichkeit der Einsilber von 89 % bei 65 dB Sprachpegel im Freifeld und lagen damit oberhalb des gewählten Einschlusskriteriums, von mehr als 60 % Einsilberversandlichkeit bei 65 dB SPL. Ein hohes Leistungsniveau ist für den Einsatz der adaptiven Pegelsteuerung notwendig, führt aber zum Ausschluss schlechthörender Probanden und damit zur weiteren Selektion des Probandenkollektivs (Steffens, 2017). Auch die gewählten Kriterien, die zum Ausschluss von zwei CI-Probanden aus der Studie führten, wurden individuell durch die Untersucherin festgelegt.

Die Inhomogenität des Probandenkollektivs der CI-Träger wird durch den signifikanten Einfluss des Geschlechts der Probanden auf die SRT widergespiegelt. Die sechs weiblichen CI-Probandinnen erzielten beim männlichen HINT (MW -1,78 dB SNR) und beim OLSA (MW -1,42 dB SNR) signifikant bessere Sprachverständlichkeitswerte im Vergleich zu den fünf männlichen Probanden (MW 1,14 dB SNR beim männlichen HINT bzw. 0,98 dB SNR beim OLSA).

Die weiblichen CI-Trägerinnen sind mit einem Altersdurchschnitt von 31,5 Jahren jünger als die männlichen CI-Träger mit 48,6 Jahren. Auch wurden weitere von Blamey et al. genannte Einflussfaktoren wie die CI-Nutzungsdauer, das Alter der Probanden zum Zeitpunkt der Ertaubung, der Beginn der schwergradigen Schwerhörigkeit, das Implantationsalter, die Ertaubungsdauer und Ätiologie der SH im Rahmen der Erhebung der Daten erfasst, allerdings nicht näher in die Auswertung einbezogen (Blamey et al., 2013). Auch der von Dalbert et al. aufgezeigte signifikante Einfluss von präoperativ vorhandenem Residualhören auf die Verständlichkeit von Wörtern auch über die ersten 12 postoperativen Monate hinaus, wurde in dieser Studie, trotz des Unterschieds, dass HINT und OLSA Satztestverfahren sind, nicht weiter beachtet (Dalbert et al., 2016).

Die Auswahl eines homogenen Probandenkollektivs bei Cochlea Implantat-Trägern gestaltet sich trotz spezifischer Ein- und Ausschlusskriterien deutlich schwieriger im Vergleich zur Auswahl eines normalhörenden Probandenkollektivs. Erzielte Ergebnisse mit CI-Trägern sollten deshalb immer im Kontext der Probandenanzahl, der kognitiven Leistungsfähigkeit und dem Hintergrund bzw. Rahmen der CI-Versorgung

betrachtet werden. Erkenntnisse und Beobachtung sollten nicht unkritisch auf die Allgemeinheit der CI-Träger übertragen werden (Steffens, 2017).

5.4.2 Analyse sprecherspezifischer Parameter sowie Eigenschaften und deren Einfluss auf die Sprachverständlichkeit

Im folgenden Kapitel wird auf bereits erfolgte Studien zum Einfluss unterschiedlicher Sprecher und verschiedener akustisch-phonetischer Parameter auf die Sprachverständlichkeit eingegangen. Weiter werden ihre Ergebnisse im Kontext dieser Studie kritisch analysiert.

Bei den normalhörenden Probanden dieser Studie konnte vergleichbar der Studien von Gengel und Kupperman mittels Wörterlisten in verschiedenen Störgeräusch-Bedingungen bzw. Kiliç und Ogüt mit einem Einsilber-Sprachtest, kein signifikanter Unterschied der erzielten Sprachverständlichkeit zwischen Sprechern beider Geschlechter festgestellt werden (Gengel und Kupperman, 1980, Kiliç und Ogüt, 2004).

Die mittlere Grundfrequenz der Stimme der weiblichen Sprecherin und des männlichen Sprechers des HINT unterscheidet sich signifikant. Die Stimme der weiblichen Sprecherin hat eine mittlere Grundfrequenz von 179 Hz (SD 11 Hz). Sie liegt unterhalb des in der Literatur angegebenen Mittelwerts der Grundfrequenz weiblicher Stimmen von 200 bis 220 Hz. Die mittlere Grundfrequenz der Stimme des männlichen Sprechers befindet sich mit 105 Hz (SD 4 Hz) im Bereich vergleichbarer Literaturwerte von 100 bis 120 Hz (Schneider-Stickler und Bigenzahn, 2013, Simpson, 2009, Titze, 1989). Die tiefere Grundfrequenz der weiblichen Sprecherin könnte daher einen entscheidenden Einfluss auf die erzielten Messwerte darstellen und einen Erklärungsansatz für die vergleichbare Verständlichkeit der beiden Sprecher liefern.

Den Einfluss der mittleren Grundfrequenz auf die Sprachverständlichkeit untersuchten auch Bradlow et al.. Sie führten eine vergleichende Studie von 2.000 Sätzen unter Ruhebedingungen mit je zehn weiblichen Sprecherinnen und männlichen Sprechern durch. Es wurde eine bessere Verständlichkeit der weiblichen Sprecherinnen ermittelt. Deren mittlere Grundfrequenz betrug 179 Hz und unterschied sich deutlich von den mittleren Grundfrequenzen der männlichen Sprecher mit 103 Hz. Dennoch stellten die Autoren keine Korrelation zwischen der Höhe der mittleren Grundfrequenz und der Sprachverständlichkeit fest. Stattdessen begründeten sie ihre Ergebnisse anhand des deutlich größeren Grundfrequenz-Bereichs und der größeren Ausdehnung der Vokalraumfläche der weiblichen Stimmen (Bradlow et al., 1996).

Ein signifikanter Unterschied des mittleren Grundfrequenz-Bereichs wurde auch bei der weiblichen HINT-Sprecherin (119 Hz) und dem männlichen HINT-Sprecher (63 Hz) festgestellt. Dennoch werden von den NH-Probanden gleiche Sprachverständlichkeitswerte erzielt.

Auch in der Studie von Hazan und Markham erreichten Probanden bei den 18 weiblichen Sprecherinnen durchschnittlich höhere Verständlichkeitswerte des Testmaterials im Störgeräusch im Vergleich zu den 15 männlichen Sprechern. Eine Korrelation der Verständlichkeit mit einem ausgedehnten Grundfrequenz-Bereich konnten sie nicht feststellen. Stattdessen argumentierten auch sie, wie Bradlow et al., mit einem größeren Umfang der Vokalraumfläche der weiblichen Sprecherinnen (Hazan und Markham, 2004, Bradlow et al., 1996).

Auch die Vokalraumfläche der weiblichen Sprecherin des HINT ist mit 542.802 Hz^2 deutlich größer im Vergleich zum männlichen Sprecher mit 141.259 Hz^2 (auch erkennbar anhand der Größe des in Abbildung 8 (Kapitel 4.2) dargestellten Vokaldreiecks). Dennoch stellt auch dies keinen entscheidenden Einfluss auf die Sprachverständlichkeit der beiden HINT-Sprecher dar.

Bond und Moore stellten in ihrer Studie mit fünf männlichen Sprechern ebenfalls den genannten Zusammenhang einer besseren Verständlichkeit bei einem differenzierten Vokalraum, der auch periphere Formantbereiche umfasst, heraus.

Die Formanten F1 und F2 der Vokale /a:/ und /i:/ der weiblichen HINT-Sprecherin sind zu signifikant höheren Frequenzen verschoben, während F2 des Vokals /u:/ beim männlichen Sprecher zu einer signifikant höheren Frequenz verschoben ist. Auch der Abstand der beiden Formanten F2 zu F1 des Vokals /i:/ ist bei der weiblichen Sprecherin signifikant größer (2.243 Hz im Vergleich zu 1.786 Hz beim männlichen Sprecher). Die weibliche Stimme des HINT umfasst periphere Formantbereiche. Dennoch führt auch dies nicht zu einer unterschiedlichen Verständlichkeit der beiden HINT-Sprecher. Weiter stellten sie, wie auch Bradlow et al., keine Korrelation zwischen der Höhe der mittleren Grundfrequenz und der Verständlichkeit fest.

Gegensätzliches ist für die Sprechgeschwindigkeit sowie die Wort- und Vokaldauer verschiedener Sprecher feststellbar. Diese korreliert bei Bond und Moore bzw. Hazan und Markham im Gegensatz zur Studie von Bradlow et al. mit der Verständlichkeit eines Sprechers. Eine verlangsamte Sprechgeschwindigkeit und längere

Wort- und Vokaldauer tragen demnach zu einer besseren Verständlichkeit bei (Bradlow et al., 1996, Bond und Moore, 1994, Hazan und Markham, 2004).

Trotz des signifikanten Unterschieds der Sprechgeschwindigkeit der drei Sprecher von HINT und OLSA, hat auch diese bei den NH-Probanden keinen Einfluss auf die erzielten Sprachverständlichkeitswerte. Der Sprecher des OLSA hat mit 233 Silben/ min eine signifikant langsamere Sprechgeschwindigkeit (laut Wagener et al. als normal bis gemäßigt einzuordnende Sprechgeschwindigkeit) im Vergleich zum männlichen HINT-Sprecher mit 251 Silben/ min und der weiblichen Sprecherin mit 287 Silben/ min. Dennoch korreliert die SRT der NH-Probanden der Testkondition von weiblichem und männlichem HINT gleichsinnig und signifikant miteinander ($r_s = 0,46$).

Gegensätzlich dazu, erreichen die CI-Träger der Studie, welche ihren ersten HINT Durchgang mit einem männlichen Sprecher absolvierten ($n = 5$), eine signifikant bessere Sprachverständlichkeit (MW SRT -1,00 dB SNR) im Vergleich zu den Probanden, welche zunächst den HINT mit weiblicher Sprecherin absolvierten ($n = 6$) (MW SRT 1,88 dB SNR).

Auch in Studien von Kiliç und Ogüt (NH-Probanden mit simulierter Hochtonschwerhörigkeit), Kliem und Kollmeier (Probanden mit Hochtonabfall), Larsby et. al. (NH-Probanden und Probanden mit nieder-und hochfrequenter Schwerhörigkeit) und McCloy et al. (NH-Probanden) wurden bei einem männlichen Sprecher bessere Verständlichkeitswerte erzielt (Kiliç und Ogüt, 2004, Kliem und Kollmeier, 1994, Larsby et al., 2015, McCloy et al., 2015).

Kliem und Kollmeier begründen ihre Ergebnisse über die höhere Grundfrequenz weiblicher Stimmen, welche für Probanden mit Hörverlusten oberhalb von 1.000 Hz schlechter wahrzunehmen ist. Die ebenfalls in die Studie eingeschlossenen Probanden mit altersgemäßem Gehör und Probanden mit Diagonalabfall erzielten, ähnlich den eingangserwähnten Studien bei der weiblichen Sprecherin, bessere Verständlichkeitswerte. Das verwendete Störsignal des Zweisilber-Reimtests wurde anhand der männlichen Stimme generiert und verdeckt daher die höheren spektralen Anteile der weiblichen Stimme schlechter. Die Folge ist eine bessere Verständlichkeit der weiblichen Sprecherin (Kliem und Kollmeier, 1994). Sowohl das Störgeräusch des

HINT als auch des OLSA sind sprecher- und sprachspezifisch. Eine optimale Verdeckung ist gewährleistet (Wagener et al., 1999a, Nilsson et al., 1994, Joiko et al., 2020).

Die bessere Verständlichkeit des männlichen Sprechers der schwedischen HINT-Studie von Larsby et. al. wird mit der zunehmenden Verzerrtheit der weiblichen Stimme in höheren Frequenzen begründet. Dabei ist neben der mittleren Grundfrequenz (F0 weiblich: 182 Hz im Vergleich zu F0 männlich: 128 Hz) und den Frequenzen von Konsonanten und Harmonischen, auch grundsätzlich die spektrale Energie der weiblichen Stimme zu höheren Anteilen verschoben. Auch die oftmals „behauchtere“ Aussprache weiblicher Stimmen trägt zu einer schlechteren Verständlichkeit bei (Larsby et al., 2015).

Die tiefere Grundfrequenz des männlichen HINT-Sprechers scheint bei den CI-Trägern, ähnlich den Studienergebnissen mit den Probanden mit einer Hochtonschwerhörigkeit (Kiliç und Ogüt, Larsby et al., Kliem und Kollmeier), einen vergleichbaren Effekt auf die Verständlichkeit zu haben (Kiliç und Ogüt, 2004, Larsby et al., 2015, Kliem und Kollmeier, 1994). Ein Zusammenhang zwischen einer besseren Verständlichkeit und einem größeren Grundfrequenz-Bereich sowie einer breiteren Ausdehnung der Vokalraumfläche, welche auch periphere Formantbereiche umfasst, konnte entgegen den einführend genannten Studien nicht festgestellt werden (Bond und Moore, 1994, Hazan und Markham, 2004, Bradlow et al., 1996).

Die Sprechgeschwindigkeit des männlichen HINT-Sprechers ist langsamer im Vergleich zur weiblichen Sprecherin. Diese Erkenntnis könnte, ähnlich der Studien von Bond und Moore bzw. Hazan und Markham, eine Erklärung für dessen bessere Verständlichkeit bei den CI-Trägern sein (Hazan und Markham, 2004, Bond und Moore, 1994). In den Testverfahren der vergleichenden Studie von Müller-Deile mit CI-Trägern wird die Geschwindigkeit des gesprochenen Sprachmaterials als wichtige Einflussgröße der Verständlichkeit von Testitems bezeichnet (Müller-Deile, 2009).

Krause und Braida berichten in ihrer Studie zum Verständnis gesprochener Sätze durch verschiedene Sprecher von einer größeren Relevanz klarer, deutlicher Aussprache für die Satzverständlichkeit, im Vergleich zu einer langsameren Sprechgeschwindigkeit (Krause und Braida, 2004). Auch Bradlow et al. heben die Bedeutung einer klar betonten Aussprache, präzisen Artikulation und genauen zeitlichen Abstimmung der Satzelemente für die Verständlichkeit gesprochener Sprache hervor

(Bradlow et al., 1996). Genannte Eigenschaften treffen, soweit subjektiv beurteilbar, auch auf die weibliche HINT-Sprecherin zu. Auch sie verfügt über eine klar betonte Aussprache sowie gewisse Präzision bei der Artikulation der einzelnen Silben. Ergänzend können ihr ähnliche Eigenschaften, wie bei der weiblichen Sprecherin der Studien von Hargus-Ferguson zum Vergleich der Verständlichkeit von Umgangssprache mit „klar betonter Sprache“ von Sprechern beider Geschlechter zugeschrieben werden. Laut Autorin sprechen Frauen mit mehr Umsicht sowie Besonnenheit und passen sprachakustische Parameter wie beispielsweise die Sprechgeschwindigkeit gezielter an die Sprachsituation an (Hargus-Ferguson, 2004).

Der positive Effekt der beschriebenen Eigenschaften der weiblichen Stimme des HINT, im Sinne einer besseren Verständlichkeit, bleibt bei dieser Studie jedoch aus (Krause und Braida, 2004, Bradlow et al., 1996, Hargus-Ferguson, 2004). Gegenständliches ist für den männlichen HINT-Sprecher vorzufinden. Trotz der subjektiven Wahrnehmung, einer undeutlichen, ungenauen und „genuschelten“ Aussprache, wird bei der ersten HINT-Messung der CI-Träger eine signifikant bessere Verständlichkeit erzielt. Beispielsweise wird der letzte Buchstabe einiger Silben oft nur schwach betont (Beispiel: Satz 12 „is“ statt „ist“, Satz 18 „wäschtdt“ statt „wäscht“). Bei der weiblichen HINT-Sprecherin ist, vergleichbar der Beobachtung von Larsby et. al., eine „behauchtere“ Aussprache (Beispiel: Satz 233 „duschen“, Satz 34 „sauer“) und bei höheren Sprachsignalen eine zunehmende Verzerrtheit gegenwärtig. Zusätzlich findet bei einigen Sätzen die Endsilbe, aufgrund der schnellen Sprechgeschwindigkeit kaum Betonung und wird daher vom Hörer schlecht wahrgenommen (Beispiel: Satz 159 „gemolken“ Satz 76 „hört“, Satz 176 „essen“).

Bei beiden HINT-Sprechern wird grundsätzlich eine gewisse Variabilität der Betonung wahrgenommen. Wörter, die wiederholt verwendet werden, (Beispiel: „Kinder“; in Liste 1, Satz 84 und Satz 269 gegenüber Liste 2, Satz 318 und Satz 113) werden im Kontext des jeweiligen Satzes unterschiedlich betont. Genannte Charakteristika der beiden Stimmen wurden subjektiv durch die Probanden und die Untersucherin beobachtet und könnten einen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit darstellen. Weitere Studien zur Evaluation der beschriebenen Beobachtungen sowie ihrer Einflussnahme auf die Sprachverständlichkeit sollten angeschlossen werden.

Gengel und Kupperman zeigten bereits 1980 auf, dass individuelle Variabilitäten der Betonung, Artikulation und Aussprache sowie des Langzeitspektrums des Sprachmaterials nicht nur zwischen den beiden Geschlechtern, sondern auch zwischen verschiedenen Sprechern vorhanden sind (Gengel und Kupperman, 1980).

Die Sprecherwahl hätte durch eine phonetische Analyse der Stimmcharakteristik verschiedener zur Verfügung stehender Personen für die Rolle des „HINT-Sprechers“ im Vorfeld der Studie spezifischer gestaltet werden können. Genannte stimmliche Einflussfaktoren, aber auch Parameter wie Grundfrequenz oder Sprechgeschwindigkeit, hätten so in die Auswahl eines geeigneten HINT-Sprechers einbezogen werden können. Die Einflussgröße des Sprechers auf die Verständlichkeit hätte damit vermindert und gleichzeitig die Validität des Testverfahrens erhöht werden können. Zusätzlich hätte das Sprachmaterial mehrfach mit verschiedenen Variationen der phonetischen Parameter aufgenommen werden können, um spezifische Zusammenhänge zwischen den Parametern und der SRT analysieren zu können.

Beim HINT wurde ein ungeübter Sprecher gewählt, um den möglichen Einfluss einer Überartikulation oder unnatürlichen Betonung durch einen geschulten Sprecher, zu minimieren. Gleichzeitig spiegelt die Wahl eines ungeübten Sprechers das alltägliche Sprach- und Hörumfeld besser wider.

Im Kontext der Aussagen zu den CI-Trägern muss beachtet werden, dass auch bei diesen, nachdem sie mit beiden Sprechern je einen HINT-Durchgang absolviert hatten, kein weiterer signifikanter Unterschied der Sprachverständlichkeit der weiblichen Sprecherin und des männlichen Sprechers festgestellt werden konnte. Der HINT war für alle beteiligten Probanden ein neues Testverfahren. Der Gewöhnung an das Testprozedere und dem ersten Kennenlernen der Testitems kommt daher eine erhebliche Bedeutung zu. Die Unterschiede der Sprachverständlichkeit der ersten HINT-Messung sollten kritisch betrachtet werden und durch Folgestudien, mit einer größeren Anzahl an eingeschlossenen CI-Trägern, weiter untersucht werden.

Zudem wurde die phonetische Analyse des Sprachmaterials mit einem geringen Anteil des gesamten Sprachmaterials durchgeführt, n (Sätze) = 36 bzw. n (Vokale und Formanten) = 12 bei 240 vorhandenen Sätzen bestehend aus 3 bis 7 Wörtern.

Neben den ausgewählten phonetischen Parametern verweisen genannte Studien auch auf weitere Parameter, deren Einfluss auf die Sprachverständlichkeit nicht zu

vernachlässigen ist. Bond und Moore zeigten die Bedeutung der Wort- und Vokaldauer auf, während Bradlow et al. bzw. McCloy et al. ergänzend den positiven Effekt einer präzisen Artikulation der Konsonanten, der zeitlichen Abstimmung von Wörtern und Formantübergängen sowie den optimalen Frequenz- und Lautstärkebereich des Sprachsignals für dessen Verständlichkeit erfassten (Bond und Moore, 1994, Bradlow et al., 1996, McCloy et al., 2015). In den Studien von Hazan und Markham sowie Krause und Braida wurde zusätzlich die Bedeutung der Konzentration der spektralen Energie im 1 bis 3 kHz Bereich des Sprachspektrums hervorgehoben (Hazan und Markham, 2004, Krause und Braida, 2004). Auch auf das physiologische Auftreten einer veränderten Frequenzverteilung eines Sprachsignals bei zunehmendem Sprechaufwand sowie höheren Sprachschalldruckpegeln wurde nicht weiter eingegangen (Müller-Deile, 2009).

Das Resultat der Analyse des Zusammenhangs zwischen den akustisch-phonetischen Parametern der beiden HINT-Sprecher und der erzielten Sprachverständlichkeit durch die beiden Probandenkollektive, verdeutlicht die Inkonsistenz der Ergebnisse der im Kapitel dargestellten Literatur.

Auch Ahrlich konnte im Rahmen ihrer Bachelorarbeit der Universität Oldenburg keine sprecherspezifische Eigenschaft (untersucht wurde die mittlere Grundfrequenz, der F0-Bereich, die Größe der Vokalraumfläche und die Sprechgeschwindigkeit) aufzeigen, welche in einem eindeutigen Zusammenhang mit einer besseren Sprachverständlichkeit von einem der sechs untersuchten Sprechern-/innen beim OLSA steht (Ahrlich, 2013). Interindividuelle Variabilitäten tragen dazu bei, dass die Verständlichkeit eines jeden Sprechers, losgelöst von seinem Geschlecht, betrachtet werden muss.

Vergleichbar der Schlussfolgerung von Hazan und Markham ist demnach nicht ein spezifischer akustisch-phonetischer Parameter ausschlaggebend für die bessere Verständlichkeit eines Sprechers, sondern das individuelle Zusammenspiel verschiedener Parameter (Hazan und Markham, 2004).

Die Einflussnahme einer Sprecherin bzw. eines Sprechers auf die Sprachverständlichkeit, ist auch in einer sprechervergleichenden Studie von Hochmuth et al. mit vier bilingualen Sprecherinnen und Sprechern (Deutsch - Russisch bzw. Deutsch - Spanisch) mittels OLSA, signifikant. Die SRT-Differenzen betragen bis zu 6 dB SNR, bei

p-Werten von $p < 0,001$ bzw. $p = 0,008$ und damit $p \leq 0,05$. Die SRT-Werte der bilingualen Sprecherin/ des Sprechers für beide Sprachen sind vergleichbar. Zwischen der Sprachverständlichkeit von deutscher und russischer Sprache ist kein signifikanter Unterschied vorhanden ($p = 0,239$), während bei den bilingual deutsch-spanischen Sprecherinnen/ Sprechern in deutscher Sprache 2 bis 4 dB signifikant bessere Sprachverständlichkeitswerte erzielt werden ($p < 0,001$). Ursächlich für die schlechtere Verständlichkeit werden von Hochmuth et al. spezifische Laute und Besonderheiten der Artikulation und Sprachstruktur der spanischen Sprache genannt. Auch der Unterschied des Langzeitspektrum zwischen verschiedenen Sprechern der gleichen Sprache ist, im Vergleich zu intraindividuellen Unterschieden zwischen den beiden Sprachen einer bilingualen Sprecherin bzw. Sprechers, größer (Hochmuth et al., 2015).

Die Sprachverständlichkeit wird demnach stärker durch sprecherspezifische Faktoren im Vergleich zu sprachspezifischen Faktoren beeinflusst.

Die Sprachverständlichkeit sollte daher nicht anhand eines Sprechers ermittelt werden. Stattdessen sollte eine Gesamtanalyse der Verständlichkeit mit verschiedenen Sprechern und verschiedenen Geschlechtern durchgeführt werden.

Mittels einer Studie mit bilingualen HINT-Sprechern, ähnlich der Studie von Hochmuth et al., könnte der sprecherspezifische Einfluss weiter untersucht werden.

Gleichzeitig könnten die gemachten Beobachtungen zur Schwierigkeit des deutschsprachigen Sprachmaterials (dargestellt durch niedrigere SRT-Werte im internationalen Vergleich) sprachübergreifend analysiert werden (Hochmuth et al., 2015).

Eine Option zur Überprüfung der Sprachverständlichkeit ohne den Einfluss interindividueller Variabilität verschiedener Sprecher und ihrer Geschlechter, wäre die Erstellung eines Sprachverständlichkeitstest, bei dem in einem Testdurchgang sowohl Sätze von einer weiblichen Sprecherin als auch einem männlichen Sprecher präsentiert werden. 2017 wurde von Kelly et al. ein australischer Matrixtest mit zehn verschiedenen Sprechern beider Geschlechter evaluiert. Er besteht aus sieben professionellen Sprechern (drei weiblich, vier männlich) sowie drei Laiensprechern (zwei weiblich, einer männlich). Trotz der phonetischen Diversität der Sprecher werden bei festen SNR-Pegeln beim australischen Matrixtest Ergebnisse erreicht, welche vergleichbar mit den SRT-Werten der Matrixtests anderer Sprachen sind (australischer Matrixtest, mittlere SRT -10.6 dB SNR und Steigung 19,3 %/ dB, deutscher OLSA,

mittlere SRT -7,1 dB SNR, und Steigung 17,1 %/ dB bzw. SRT-Bereich von Matrixtests verschiedener Sprachen, -6,0 bis -10,1 dB SNR bzw. Steigung von 10,2 %/ dB bis 17,1 %/dB). Die negativeren SRT-Werte des australischen Matrixtest werden mit der Wahl des Störgeräuschs, welches anhand des durchschnittlichen Spektrums aller Sprecher generiert wurde, begründet. Dieses verdeckt demnach das individuelle Sprachmaterial der einzelnen Sprecher schlechter (Kelly et al., 2017, Kollmeier et al., 2015, Wagener et al., 1999c).

Auch Boyle et al. entwickelten 2013 einen Satztest, bei welchem je 15 der 30 Sätze pro Liste von einer weiblichen Sprecherin und einem männlichen Sprecher gesprochen werden. Der STARR kann, zur besseren Darstellung einer alltäglichen Hörsituation mittels verschiedener Variationen der Testbedingungen, durchgeführt werden. Diese können die Stimmanstrengung der Sprecher, die Entfernung des CI-Trägers zum Mikrofon sowie die Wahl von einem der drei unterschiedlichen festen Sprachsignalpegel (50, 65 und 80 dB SPL) betreffen. Auch die beiden Sprecher des STARR durften über keine Sprachbeeinträchtigung verfügen und waren angehalten, die Sätze mit einer natürlichen Aussprache und konstanten Wiedergabe einzusprechen. Während die weibliche Sprecherin (mittlere Grundfrequenz 199 Hz) angehalten war, das Sprachmaterial umgangssprachlich einzusprechen, sollte der männliche Sprecher (mittlere Grundfrequenz 143 Hz) auf eine bewusst klare Artikulation achten. Anhand der instruierten Sprechcharakteristika ergab sich eine Sprechgeschwindigkeit der weiblichen Sprecherin von 3,6 Wörter/Sekunde bzw. 3,1 Wörter/Sekunde beim männlichen Sprecher.

Die normalhörenden Probanden der Studie erzielten bei beiden Sprechern nahezu gleiche mittlere SRT-Werte (-6,1 dB (männlich) bzw. -5,7 dB (weiblich)).

Die 22 eingeschlossenen CI-Träger erzielten hingegen beim männlichen Sprecher eine deutlich bessere Verständlichkeit im Vergleich zur weiblichen Sprecherin (MW SRT 22 dB gegenüber 34 dB). Im zweiten Teil der Studie konnte der Zusammenhang zwischen einer schnelleren Sprechgeschwindigkeit und steigenden SRT-Werten nachgewiesen werden. Die weibliche HINT-Sprecherin, welche durch die CI-Träger in deren erster Messung schlechter zu verstehen ist, spricht mit einer schnelleren Sprechgeschwindigkeit.

Dennoch wurden auch in dieser Studie starke individuelle Variabilitäten zwischen den CI-Trägern festgestellt. Ursächlich könnten die große Altersspanne (21 bis

77 Jahre), eine mittlere Dauer der Taubheit vor CI-Versorgung von mehr als 12 Jahren sowie eine unterschiedliche Zeit der CI-Erfahrung (2 bis 16 Jahre) sein. Mögliche Einsatzbereiche des STARR könnte laut Autoren die Bewertung der CI-/ HG-Versorgung umfassen (Boyle et al., 2013).

In der Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses zur Indikation und Überprüfung einer HG-Versorgung werden bislang nur Testverfahren mit einem männlichen Sprecher berücksichtigt. Durch Integration eines Testverfahrens mit einer weiblichen Sprecherin bzw. mit Sprechern beider Geschlechter könnte die sprachakustische Vielfalt im Alltag hingegen deutlich besser dargestellt werden.

Neben den genannten Eigenschaften sollten die Ergebnisse sprachaudiometrischer Verfahren auch immer im Kontext der Phonetik, Phonologie, Semantik, Syntax und Lexikologie der Sprache betrachtet werden. Nilsson et al. bezeichnete die Vielfalt an Einflussfaktoren auf die Verständlichkeit von Sprache abstrakt als „linguistische Entropie“ (Nilsson et al., 1994).

5.5 Sprachverständlichkeit mit Cochlea Implantat

Seit dem Beginn der Implantationsgeschichte von Cochlea Implantaten in den 80ziger Jahren, ist deren technische Entwicklung rasant vorangeschritten (Ernst et al., 2009). Eine Vielzahl an klinischen Studien wurde seitdem mit CI-Trägern und den verschiedensten sprachaudiometrischen Testverfahren durchgeführt. Aufgrund großer Unterschiede der gewählten Einschluss- und Ausschlusskriterien der Probandenkollektive sowie testmethodischer Einstellungen sind deren Ergebnisse, nur unter Vorbehalt, miteinander vergleichbar. Auch die gewählten Kodierungsstrategien und Sprachprozessoreinstellungen von Cochlea Implantaten haben laut einer Studie von Green et al., zur Wortverständlichkeit von CI-Trägern, einen Einfluss auf deren Verständlichkeit und sollten beachtet werden (Green et al., 2007).

Rader et al. ermittelten in ihrer Studie mit bilateral versorgten CI-Trägern und Probanden mit bimodaler elektrisch-akustischer Stimulation die Sprachverständlichkeit des OLSA in verschiedenen Störumgebungen. Der ermittelte SRT Median der bilateralen CI-Träger im Stör- und Sprachsignal von vorne betrug -0,4 dB SNR. Der Wert ist damit vergleichbar mit dem SRT Median der bilateralen CI-Träger dieser Studie mit -1,00 dB SNR. Beachtet werden sollte, dass die Probanden von Rader et al. über mindestens 12 Monate Hörerfahrung mit dem CI verfügten, im Median 51 Jahre alt

waren und im Freiburger Einsilbertest einen Mittelwert von 80,5 % Verständlichkeit bei 65 dB SPL erreichten. Die CI-Probanden dieser Studie waren jünger (Median 39 Jahre) und erzielten beim Freiburger Einsilbertest mit 89 % bei 65 dB SPL zusätzlich bessere Sprachverständlichkeitswerte. Zwei Probanden hatten jedoch nur eine Hörerfahrung mit einem bzw. beiden Cochlea Implantaten unter 12 Monaten. Außerdem führten Rader et al. ihre Messungen als geschlossenes Verfahren und ohne Trainingsliste durch, während in dieser Studie das offene Testverfahren inklusive einer Trainingsliste von 20 Sätzen, gewählt wurde. Auch die Anordnung der Schallquellen im Studienraum unterschied sich bei beiden Studien. Der Abstand zwischen Proband und Lautsprecher betrug bei Rader et al. (2013) 1,3 Meter, bei dieser Studie 1,0 Meter.

Hey et al. führten eine Studie zur Sprachverständlichkeit des OLSA mit CI-Trägern mit drei verschiedenen Sprachprozessoreinstellungen durch. Die CI-Träger (Altersdurchschnitt 54 Jahre) erzielten deutlich bessere SRT-Mittelwerte mit einer geringeren SD von -2,7dB SNR (SD 0,40 dB), -1,7 dB SNR (SD 0,40 dB) bzw. -3,3dB SNR (SD 0,40 dB) im Vergleich zur SRT dieser Studie, Mittelwert -0,33 dB SNR (SD 2,09 dB). Hey et al. führten ihre Studie mit einer größeren Anzahl an Probanden durch (n = 23) und schlossen sowohl unilateral als auch bilateral versorgte CI-Träger ein, welche seit mindestens 4 Jahren mit einem CI versorgt waren. Zusätzlich verwendeten sie die 30-Satz-Listen des OLSA und führten einen Trainingsdurchgang unter Ruhebedingungen durch (Hey et al., 2016).

Die dargestellten Unterschiede des eingeschlossenen Probandenkollektivs und der gewählten Testmethodik der Studien von Rader et al. und Hey et al. verdeutlichen die eingangs erwähnte Problematik, der schwierigen Vergleichbarkeit gewonnener sprachaudiometrischer Daten von CI-Trägern.

Bei hochgradig Schwerhörigen wurde die bilaterale CI-Versorgung lange Zeit als die beste Versorgungsmöglichkeit angesehen, mit welcher diese auch in komplexen Hörsituationen ein ausreichendes Sprachverständnis erreichen können. Dennoch sollte die Bedeutung eines, wenn auch nur minimal vorhandenen, akustischen Restgehörs für die Sprachverständlichkeit nicht vernachlässigt werden (Gifford et al., 2015).

Studien von Rader et al. unterstrichen den Vorteil einer bimodalen Versorgung durch Kombination einer elektrisch-akustischen Stimulation mit einem kontralateralen Hörgerät. Vor allem in komplexen Störgeräuschsituationen wird damit ein signifikant bes-

seres Sprachverständnis beim OLSA, im Vergleich zur alleinigen bilateralen CI-Versorgung, erzielt. Von entscheidendem Vorteil ist demnach die Möglichkeit, über die bilateral verfügbaren akustischen Informationen zusätzlich die spektrale Auflösung und Feinstruktur im Tieffrequenzbereich für die Sprachverständlichkeit nutzen zu können (Rader et al., 2013). Die Ergebnisse von Rader et al. werden durch eine Studie von Dorman et al. zum Nutzen der bimodalen Versorgung gestützt. In der genannten Studie wird dessen signifikanter Vorteil gegenüber der reinen CI-Versorgung, vor allem bei der Verwendung von Sätzen unter Störschallbedingungen im Vergleich zu Wörtern als Sprachmaterial, deutlich (Dorman et al., 2014).

Die Bedeutung des Restgehörs im Tieffrequenzbereich für die Sprachverständlichkeit wird auch in den CI-Simulationsstudien von Rader et al. sowie Qin und Oxenham hervorgehoben. Vor allem die Feinstruktur des Amplitudenverlaufs der Grundfrequenz hat laut Autoren einen positiven Einfluss auf die SRT (Rader et al., 2015, Qin und Oxenham, 2003). Laut Cullington und Zeng reicht ein minimales Restgehör in Frequenzen unter 125 Hz aus, um anhand des dortigen Verlaufs der Grundfrequenz, verschiedene Sprecherstimmen, unterscheiden zu können (Cullington und Zeng, 2010). Larsby et al. begründen die schlechtere Verständlichkeit der weiblichen Sprecherin des schwedischen HINT bei schwerhörigen Probanden in ähnlicher Weise. Die weibliche Stimme hat eine höhere Grundfrequenz und ihr Energiespektrum umfasst vor allem Frequenzen oberhalb von 4 kHz. Der Tieffrequenzbereich wird kaum erfasst (Larsby et al., 2015).

Auch die CI-Probanden dieser Studie erreichen bei der ersten HINT-Messung beim männlichen Sprecher signifikant bessere Verständlichkeitswerte (MW -1,00 dB SNR) im Vergleich zur weiblichen Sprecherin (MW 1,88 dB SNR). Die mittlere Grundfrequenz des männlichen Sprechers liegt mit 105 Hz unterhalb der von Cullington und Zeng genannten Grundfrequenz von 125 Hz. Die Grundfrequenz ist nicht nur für das Hören im Tieffrequenzbereich verantwortlich, sondern hat nach Brown und Bacon eine entscheidende Bedeutung für das Sprachverständnis im Störgeräusch. Trotz des technischen Fortschritts der Cochlea Implantate gestaltet sich dessen Übertragung und Verarbeitung über die Codierungsstrategien der Geräte bislang schwierig. Genannte Autoren unterstreichen die Bedeutung des minimalen Restgehörs für die Übertragung der Grundfrequenzinformationen (Brown und Bacon, 2010, Spitzer et al., 2009, Cullington und Zeng, 2010, Rader et al., 2013).

Ob bei den eingeschlossenen CI-Probanden ein minimales Restgehör in den tiefen

Frequenzen vorhanden war und dies nachfolgend einen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit hat, kann nur spekuliert werden. Der genannten Mutmaßung stehen die Studienergebnisse von Rader et al. entgegen. Die Autoren räumen den Vorteil des Informationsgewinns über die Grundfrequenz im Tieffrequenzbereich bei spezifisch bimodal versorgten Probanden und nicht bilateral versorgten CI-Trägern ein (Rader et al., 2013). Weitere klärende Studien sollten angeschlossen werden.

Die Grundfrequenz trägt über die Segmentierung von Silben und Wörtern zu deren Entschlüsselung bei und führt damit zur einer besseren Verständlichkeit von sinnbehafteten Sätzen wie beispielsweise des Sprachmaterials des HINT (Spitzer et al., 2009). Auch die genannte Beobachtung von Spitzer et al. sollte, im Rahmen weiterer Studien des HINT mit CI-Trägern, näher untersucht werden.

Die Wahrnehmung und Verständlichkeit von Sprachsignalen mit Cochlea Implantat ist ein hochkomplexes Zusammenspiel von hör- und sprachakustischen Parametern, technischen Möglichkeiten, den gewählten Codierungsstrategien sowie patientenspezifischen Faktoren.

Um die Sprachwahrnehmung von CI-Trägern individuell beurteilen zu können, entwickelten Plesch et al. ein neues psychoakustisches Verfahren - das auto-precT-Verfahren. Mit diesem kann die elektrische Hörschwelle mit hoher Präzision und völlig unabhängig von einem Audiologen bestimmt werden. Das Sprachverstehen kann somit zukünftig nicht nur im klinischen Setting, sondern auch individuell für jeden CI-Träger in den verschiedensten alltäglichen Kommunikationssituationen ermittelt werden. Die Sprachprozessoreinstellungen der Cochlea Implantate können nachfolgend im Störgeräusch und bei niedrigeren Sprachpegeln weiter optimiert werden (Plesch et al., 2019).

Trotz der Vielzahl an Testverfahren bleibt die Objektivierbarkeit der Sprachwahrnehmung sowie die Übertragbarkeit und Vergleichbarkeit der Sprachverständlichkeit von CI-Trägern limitiert. Erkenntnisse von Studien mit CI-Trägern sollten daher immer kritisch und individuell im jeweiligen Kontext begutachtet und interpretiert werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem erstellten und evaluierten Hearing in Noise Test mit einer weiblichen Sprecherin in deutscher Sprache wurde der Empfehlung des International Collegium of Rehabilitative Audiology zur Konstruktion eines neuen, multilingualen und standardisierten Sprachverständlichkeitstests mit einer weiblichen Sprecherin nachgegangen. Auch die Forderung eines Vergleichs des evaluierten HINT mit weiblicher Sprecherin mit dem HINT mit männlichem Sprecher und dem klinisch routinierten OLSA wurde umgesetzt (Akeroyd et al., 2015). Ergänzend wurde der bislang im deutschsprachigen Raum wenig untersuchte Einfluss der akustisch-phonetischen Eigenschaften verschiedener Sprecher auf die Sprachverständlichkeit für Normalhörende Probanden und Probandinnen und CI-Träger und -Trägerinnen herausgearbeitet.

Der HINT mit weiblicher Sprecherin kann mit Kopfhörern, im Freifeld sowie in Ruhe und unter Störgeräuschbedingungen durchgeführt werden. Die einzelnen Schritte zur Entwicklung des HINT mit weiblicher Sprecherin wurden in Anlehnung an den HINT mit männlichem Sprecher durchgeführt (Joiko, 2019, Joiko et al., 2020). Die Erhebung der Normdaten, für die Konditionen in Ruhe, im Störgeräusch von vorne, rechts und links, erfolgte mit 24 normalhörenden Probanden und Probandinnen als Teil der Vergleichsmessungen mit dem HINT mit männlichem Sprecher und dem OLSA. Anhand der Mittelwerte und Standardabweichungen der Ergebnisse konnten Perzentilen ermittelt werden, mit welchen der Leistungsbereich einer normalhörenden Bevölkerung definiert werden kann. Mithilfe des standardisierten H-Scores können die Ergebnisse sprachübergreifend verglichen werden.

Zusätzlich wurde ein Vergleich des HINT mit weiblicher Sprecherin und männlichem Sprecher sowie des OLSA mit elf eingeschlossenen, bilateral versorgten CI-Trägern und -Trägerinnen durchgeführt.

Auch wenn sich einige der analysierten phonetischen Parameter der beiden HINT-Sprecher signifikant unterscheiden (mittlere Grundfrequenz, mittlerer Grundfrequenz-Bereich, mittlere Sprechgeschwindigkeit, die Bereiche der Formanten F1 und F2 der Vokale /a:/ und /i:/ bzw. des Formanten F2 des Vokals /u:/ sowie die Differenz von F2 zu F1 des Vokals /i:/), ist bei den normalhörenden Probanden und Probandinnen kein signifikanter Unterschied der Sprachverständlichkeitsnormwerte von weiblichem und männlichem HINT festzustellen. Die Sprachverständlichkeitswerte beider Sprecher im Störgeräusch von vorne korrelieren miteinander.

Bei den CI-Trägern und -Trägerinnen ist ein signifikanter Unterschied der Sprachverständlichkeit zwischen den beiden HINT-Sprechern festzustellen. Die CI-Träger und -Trägerinnen, welche die erste HINT-Messung mit der weiblichen Sprecherin absolvierten, erreichten eine schlechtere Sprachverständlichkeit im Vergleich zu den CI-Probanden und Probandinnen, welche die erste Messung mit dem männlichen Sprecher absolvierten. Gleichzeitig ist eine signifikante Korrelation zwischen der Sprachverständlichkeit beim HINT mit weiblicher Sprecherin, dem HINT mit männlichem Sprecher und dem OLSA feststellbar. Die Sprachverständlichkeitswerte der CI-Träger und -Trägerinnen korrelieren, unabhängig von Testverfahren und Geschlecht des Sprechers, miteinander.

Trotz der beschriebenen Signifikanz der Ergebnisse, müssen diese immer im Kontext der gewählten Testeinstellungen und -methodik, betrachtet werden. Vor allem bei CI-Trägern und Trägerinnen wird das Sprachverständnis durch ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Variablen und Einflussgrößen beschrieben. Auch interindividuelle Unterschiede der Probanden und Probandinnen haben einen nicht vernachlässigbaren Einfluss. Die Erkenntnisse und Beobachtungen der Studie sollten nicht unkritisch auf die Allgemeinheit der CI-Träger und -Trägerinnen übertragen werden.

Sowohl die Ergebnisse der dargestellten Literatur als auch dieser Studie zum Einfluss des Geschlechts eines Sprechers sowie seiner akustisch-phonetischen Eigenschaften verdeutlichen deren Variabilität und Inkonsistenz. Das Geschlecht des Sprechers scheint einen geringeren Einfluss auf die Sprachverständlichkeit, im Vergleich zum Einfluss des Sprachmaterials, zu haben.

Die Komplexität der alltäglichen Kommunikationsumgebungen kann nicht primär durch ein sprachaudiometrisches Testverfahren dargestellt werden. Die Wahl eines Testverfahrens stellt immer einen Kompromiss der Vielzahl an vorhandenen Variablen von Testitem, Testeinstellung und Testmethodik dar. Während die beliebige Wiederholbarkeit des OLSA nach erfolgtem Training im post-operativen Prozess der Anpassung und Optimierung von Hörgeräten und Cochlea Implantaten von Nutzen ist, kann der HINT, vorteilig zur schnellen und sensitiven Bestimmung der Sprachverständlichkeit nach nur kurzem Training, genutzt werden.

Mit dem HINT mit weiblicher Sprecherin steht ein weiteres sprachaudiometrisches Verfahren für den audiologischen Einsatz zur Verfügung. Die Wahl einer weiblichen Sprecherin stellt eine wichtige Ergänzung und Alternative der klinisch bekannten Testverfahren mit männlichem Sprecher dar.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- AHRLICH, M. 2013. Optimierung und Evaluation des Oldenburger Satztests mit weiblicher Sprecherin und Untersuchung des Effekts des Sprechers auf die Sprachverständlichkeit, Bachelorarbeit, Universität Oldenburg.
- AKEROYD, M. A., ARLINGER, S., BENTLER, R. A., BOOTHROYD, A., DILLIER, N., DRESCHLER, W. A., GAGNÉ, J.-P., LUTMAN, M., WOUTERS, J. & WONG, L. 2015. International Collegium of Rehabilitative Audiology (ICRA) recommendations for the construction of multilingual speech tests: ICRA Working Group on Multilingual Speech Tests. *International Journal of Audiology*, 54, 17-22.
- BALJIĆ, I., WINKLER, A., SCHMIDT, T. & HOLUBE, I. 2016. Untersuchungen zur perzeptiven Äquivalenz der Testlisten im Freiburger Einsilbertest. *HNO*, 64, 572-583.
- BANGERT, H. 1980. Probleme bei der Ermittlung des Diskriminationsverlustes nach dem Freiburger Sprachtest. *J Audiol Akustik*, 19, 166-170.
- BEST, V., KEIDSER, G., BUCHHOLZ, J. M. & FREESTON, K. 2016. Development and preliminary evaluation of a new test of ongoing speech comprehension. *International journal of audiology*, 55, 45-52.
- BLAMEY, P., ARTIERES, F., BAŞKENT, D., BERGERON, F., BEYNON, A., BURKE, E., DILLIER, N., DOWELL, R., FRAYSSE, B. & GALLÉGO, S. 2013. Factors affecting auditory performance of postlinguistically deaf adults using cochlear implants: an update with 2251 patients. *Audiology and Neurotology*, 18, 36-47.
- BLAUSEN MEDICAL, "Medical gallery of Blausen medical 2014." *WikiJournal of Medicine* 1.2 (2014): 1-79. Zitiert am 02.08.2019 URL: https://en.wikiversity.org/wiki/WikiJournal_of_Medicine/Medical_gallery_of_Blausen_Medical_2014
- BOND, Z. S. & MOORE, T. J. 1994. A note on the acoustic-phonetic characteristics of inadvertently clear speech. *Speech communication*, 14, 325-337.
- BOYLE, P. J., NUNN, T. B., O'CONNOR, A. F. & MOORE, B. C. 2013. STARR: a speech test for evaluation of the effectiveness of auditory prostheses under realistic conditions. *Ear and hearing*, 34, 203-212.
- BRADLOW, A. R., TORRETTA, G. M. & PISONI, D. B. 1996. Intelligibility of normal speech I: Global and fine-grained acoustic-phonetic talker characteristics. *Speech communication*, 20, 255-272.
- BRAND, T. & KOLLMEIER, B. 1996. Adaptive Testverfahren in der Audiologie. *Fortschritte der Akustik - DAGA* 60-63.
- BRAND, T. & KOLLMEIER, B. 2002. Efficient adaptive procedures for threshold and concurrent slope estimates for psychophysics and speech intelligibility tests. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 111, 2801-2810.
- BRAND, T. & WAGENER, K. C. 2017. Eigenschaften, Leistungen und Grenzen von Matrixtests. *HNO*, 65, 182-188.
- BRAND, T., WITTKOP, T., WAGENER, K. & KOLLMEIER, B. Vergleich von Oldenburger Satztest und Freiburger Wörtertest als geschlossene Versionen. *Annual Meeting of the German Audiological Society*, 2004.
- BROWN, C. A. & BACON, S. P. 2010. Fundamental frequency and speech intelligibility in background noise. *Hearing research*, 266, 52-59.
- BYRNE, D., DILLON, H., TRAN, K., ARLINGER, S., WILBRAHAM, K., COX, R., HAGERMAN, B., HETU, R., KEI, J. & LUI, C. 1994. An international comparison of long-term average speech spectra. *The journal of the acoustical society of America*, 96, 2108-2120.
- CHAN, J. C. Y., FREED, D. J., VERMIGLIO, A. J. & SOLI, S. D. 2008. Evaluation of binaural functions in bilateral cochlear implant users. *International Journal of Audiology*, 47, 296-310.
- COHEN, J. 1988. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, Routledge.

- CULLINGTON, H. E. & ZENG, F.-G. 2010. Bimodal hearing benefit for speech recognition with competing voice in cochlear implant subject with normal hearing in contralateral ear. *Ear and hearing*, 31, 70.
- DALBERT, A., HUBER, A., BAUMANN, N., VERAGUTH, D., ROOSLI, C. & PFIFFNER, F. 2016. Hearing preservation after cochlear implantation may improve long-term word perception in the electric-only condition. *Otology & Neurotology*, 37, 1314-1319.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR HALS-NASEN-OHREN-HEILKUNDE, K.-U. H.-C. E. V. 2012. Langfassung der Leitlinie "Cochlea-Implantat Versorgung einschließlich zentral-auditorischer Implantate" (Internet), Stand vom 02.05.2012 (in Überarbeitung), Zitiert am 02.07.2019 URL: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/017-071.html>.
- DIN 45621-1:1995-08 1995. Sprache für Gehörprüfung - Teil 1: Ein- und mehrsilbige Wörter Berlin, Beuth.
- DIN EN ISO 389-1:2018-06 2018. Akustik - Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung audiometrischer Geräte - Teil 1: Äquivalente Bezugs-Schwellenschalldruckpegel für reine Töne und supra-aurale Kopfhörer, Berlin, Beuth.
- DIN EN ISO 389-7:2017-01 2017. Akustik - Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung von audiometrischen Geräten - Teil 7: Bezugshörschwellen unter Freifeld- und Diffusfeldbedingungen, Berlin, Beuth.
- DORMAN, M. F., COOK, S., SPAHR, A., ZHANG, T., LOISELLE, L., SCHRAMM, D., WHITTINGHAM, J. & GIFFORD, R. 2014. Factors constraining the benefit to speech understanding of combining information from low-frequency hearing and a cochlear implant. *Hearing Research*, 322, 107-111.
- ERNST, A., BATTMER, R.-D. & TODT, I. 2009. Cochlear Implant heute, Heidelberg, Springer.
- FIRSZT, J. B., HOLDEN, L. K., SKINNER, M. W., TOBEY, E. A., PETERSON, A., GAGGL, W., RUNGE-SAMUELSON, C. L. & WACKYM, P. A. 2004. Recognition of speech presented at soft to loud levels by adult cochlear implant recipients of three cochlear implant systems. *Ear & Hearing*, 25, 375-387.
- FREED D 2003. Using SpchUtil. House Ear Institute, Los Angeles.
- FULLER, C. D., GAUDRAIN, E., CLARKE, J. N., GALVIN, J. J., FU, Q. J., FREE, R. H., & BAŞKENT, D. 2014. Gender categorization is abnormal in cochlear implant users. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 15(6), 1037-1048.
- GELFAND, S. A. 2017. Hearing: An introduction to psychological and physiological acoustics, Colchester, Informa Healthcare
- GEMEINSAMER BUNDESAUSSCHUSS 2018. Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses über die Verordnung von Hilfsmitteln in der vertragsärztlichen Versorgung (Hilfsmittel-Richtlinie) Zuletzt geändert am 19. Juli 2018. Veröffentlicht im Bundesanzeiger BAnz AT 02.10.2018 B1 in Kraft getreten am 3. Oktober 2018
- GENGEL, R. W. & KUPPERMAN, G. L. 1980. Word discrimination in noise: effect of different speakers. *Ear and hearing*, 1, 156-160.
- GERHAND, S. & BARRY, C. 1999. Age of acquisition, word frequency, and the role of phonology in the lexical decision task. *Memory & Cognition*, 27, 592-602.
- GIFFORD, R. H., DRISCOLL, C. L., DAVIS, T. J., FIEBIG, P., MICCO, A. & DORMAN, M. F. 2015. A within-subjects comparison of bimodal hearing, bilateral cochlear implantation, and bilateral cochlear implantation with bilateral hearing preservation: High-performing patients. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 36, 1331.
- GREEN, T., KATIRI, S., FAULKNER, A. & ROSEN, S. 2007. Talker intelligibility differences in cochlear implant listeners. *J Acoust Soc Am*, 121, E1223-9.
- HAGERMAN, B. 1982. Sentences for Testing Speech Intelligibility in Noise, . *Scandinavian Audiology*, 11, 79-87.
- HAHLBROCK, K.-H. 1953. Über Sprachaudiometrie und neue Wörkerteste. *Archiv für Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde*, 162, 394-431.

- HÄLLGREN, M., LARSBY, B. & ARLINGER, S. 2006. A Swedish version of the Hearing In Noise Test (HINT) for measurement of speech recognition: Una versión sueca de la Prueba de Audición en Ruido (HINT) para evaluar el reconocimiento del lenguaje. *International Journal of Audiology*, 45, 227-237.
- HARGUS-FERGUSON, S. 2004. Talker differences in clear and conversational speech: Vowel intelligibility for normal-hearing listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116, 2365-2373.
- HARIANAWALA, J., GALSTER, J. & HORNSBY, B. 2019. Psychometric comparison of the hearing in noise test and the american english matrix test. *Journal of the American Academy of Audiology*, 30, 315-326.
- HAWLEY, M. L., LITOVSKY, R. Y. & CULLING, J. F. 2004. The benefit of binaural hearing in a cocktail party: Effect of location and type of interferer. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115, 833-843.
- HAZAN, V. & MARKHAM, D. 2004. Acoustic-phonetic correlates of talker intelligibility for adults and children. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116, 3108-3118.
- HEY, M., HOCKE, T. & AMBROSCH, P. 2018. Sprachaudiometrie und Datalogging bei CI-Patienten. *HNO*, 66, 128-134.
- HEY, M., HOCKE, T., HEDDERICH, J. & MÜLLER-DEILE, J. 2014. Investigation of a matrix sentence test in noise: reproducibility and discrimination function in cochlear implant patients. *International journal of audiology*, 53, 895-902.
- HEY, M., HOCKE, T., MAUGER, S. & MÜLLER-DEILE, J. 2016. A clinical assessment of cochlear implant recipient performance: implications for individualized map settings in specific environments. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 273, 4011-4020.
- HOCHMAIR-DESOYER, I., SCHULZ, E., MOSER, L. & SCHMIDT, M. 1997. The HSM sentence test as a tool for evaluating the speech understanding in noise of cochlear implant users. *he American journal of otology*, 18, S83-S83.
- HOCHMUTH, S., JÜRGENS, T., BRAND, T. & KOLLMEIER, B. 2015. Talker-and language-specific effects on speech intelligibility in noise assessed with bilingual talkers: Which language is more robust against noise and reverberation? *International journal of audiology*, 54, 23-34.
- HOPPE, U. & HAST, A. 2017. Sprachaudiometrie bei der Indikation von Hörhilfen und Hörimplantaten. *HNO*, 65, 195-202.
- HOPPE, U., HOCKE, T., HAST, A. & IRO, H. 2019. Das maximale Einsilberversprechen als Prädiktor für das Sprachverstehen mit Cochleaimplantat. *HNO*, 67, 199-206.
- HOTH, S. 2016. Der Freiburger Sprachtest, Eine Säule der Sprachaudiometrie im deutschsprachigen Raum. *HNO*, 64, 540-548.
- HOTH, S. & STEFFENS, T. 2016. *Audiometrie-Die Untersuchung des Gehörs und seine technische Versorgung*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- JOIKO, J., BOHNERT, A., STRIETH, S., SOLI, S. D. & RADER, T. 2020. The German hearing in noise test. *International Journal of Audiology*, 1-7.
- JOIKO, J. H. 2019. *Entwicklung und Evaluation des HINT-Sprachtests in deutscher Sprache*, Mainz, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.
- KELLER, S., HEMMERT, W. & VÖLK, F. Aspects of generating syntax-free word lists for quantifying speech intelligibility: A pilot study. *Proceedings of Meetings on Acoustics* 172ASA, 2016. *Acoustical Society of America*, 060004.
- KELLY, H., LIN, G., SANKARAN, N., XIA, J., KALLURI, S. & CARLILE, S. 2017. Development and evaluation of a mixed gender, multi-talker matrix sentence test in Australian English. *International journal of audiology*, 56, 85-91.
- KIEßLING, J. 2000. *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 79, 633-635.
- KIEßLING, J., KOLLMEIER, B. & DILLER, G. 2017. *Versorgung und Rehabilitation mit Hörgeräten und Hörimplantaten*, Stuttgart, Georg Thieme Verlag.

- KILIÇ, M. & OGÜT, F. 2004. The effect of the speaker gender on speech intelligibility in normal-hearing subjects with simulated high frequency hearing loss. *Revue de laryngologie-otologie-rhinologie*, 125, 35-38.
- KLIEM, K. & KOLLMEIER, B. 1994. Entwicklung und Evaluation eines Zweisilber-Reimtestverfahrens für die deutsche Sprachaudiometrie. *Audiologische Akustik*, 33, 4-14.
- KOLLMEIER, B. 1992. *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*, Heidelberg, Median-Verlag.
- KOLLMEIER, B., WARZYBOK, A., HOCHMUTH, S., ZOKOLL, M. A., USLAR, V., BRAND, T. & WAGENER, K. C. 2015. The multilingual matrix test: Principles, applications, and comparison across languages: A review. *International Journal of Audiology*, 54, 3-16.
- KOLLMEIER, B. & WESSELKAMP, M. 1997. Development and evaluation of a German sentence test for objective and subjective speech intelligibility assessment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 102, 2412-2421.
- KRAUSE, J. C. & BRAIDA, L. D. 2004. Acoustic properties of naturally produced clear speech at normal speaking rates. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115, 362-378.
- LARSBY, B., HÄLLGREN, M., NILSSON, L. & MCALLISTER, A. 2015. The influence of female versus male speakers' voice on speech recognition thresholds in noise: Effects of low-and high-frequency hearing impairment. *Speech, Language Hearing* 18, 83-90.
- LEE, S., POTAMIANOS, A. & NARAYANAN, S. 1999. Acoustics of children's speech: Developmental changes of temporal and spectral parameters. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105, 1455-1468.
- LEHNHARDT, E. & LASZIG, R. 2009. *Praxis der Audiometrie*, Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG.
- LENARZ, T. & BOENNINGHAUS, H.-G. 2012. *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- LÖHLER, J., AKCICEK, B., PILNIK, M., SAAGER-POST, K., DAZERT, S., BIEDRON, S., OEKEN, J., MÜRBE, D., LÖBERT, J. & LASZIG, R. 2013. Evaluation des Freiburger Einsilbertests im Störschall. *HNO*, 61, 586-591.
- MACKENSEN, L. 1969. *Das große Buch der Vornamen: Herkunft, Ableitungen und Koseformen, Verbreitung, berühmte Namensträger, Gedenk- und Namenstage; mit einem Anhang verklungener ("nostalgischer") Vornamen*, München, Südwest-Verlag.
- MAYER, J. 2017. *Phonetische Analysen mit Praat. Ein Handbuch für Ein- und Umsteiger*, download am 22.08.2019, URL: <http://praatpfanne.lingphon.net/>, <http://praatpfanne.lingphon.net/>.
- MCCLOY, D. R., WRIGHT, R. A. & SOUZA, P. E. 2015. Talker versus dialect effects on speech intelligibility: A symmetrical study. *Language and Speech*, 58, 371-386.
- MEIER, H. 1964. *Deutsche Sprachstatistik*, Hildesheim, G. Olms Verlagsbuchhandlung.
- MEISTER, H. 2017. Sprachaudiometrie, Sprachwahrnehmung und kognitive Funktionen. *HNO*, 65, 189-194.
- MÜLLER-DEILE, J. 2009. Sprachverständlichkeitsuntersuchungen bei Kochleaimplantatpatienten. *HNO*, 57, 580-592.
- NÁBĚLEK, A. K. & ROBINSON, P. K. 1982. Monaural and binaural speech perception in reverberation for listeners of various ages. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 71, 1242-1248.
- NELSON, P. B. & JIN, S.-H. 2004. Factors affecting speech understanding in gated interference: Cochlear implant users and normal-hearing listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115, 2286-2294.
- NELSON, P. B., JIN, S. H., CARNEY, A. E. & NELSON, D. A. 2003. Understanding speech in modulated interference: cochlear implant users and normal-hearing listeners. *J Acoust Soc Am*, 113, 961-8.

- NIE, K., BARCO, A. & ZENG, F.-G. 2006. Spectral and temporal cues in cochlear implant speech perception. *Ear and hearing*, 27, 208-217.
- NIE, K., STICKNEY, G. & ZENG, F.-G. 2004. Encoding frequency modulation to improve cochlear implant performance in noise. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 52, 64-73.
- NILSSON, M., SOLI, S. D. & SULLIVAN, J. A. 1994. Development of the Hearing In Noise Test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 95, 1085-1099.
- PLESCH, J., ERNST, B. P., STRIETH, S. & RADER, T. 2019. A psychoacoustic application for the adjustment of electrical hearing thresholds in cochlear implant patients. *PLoS one*, 14.
- PTOK, M. & KIESSLING, J. 2004. Sprachperzeption - Basis sprachaudiometrischer Untersuchungen. *HNO*, 52, 824-830.
- QIN, M. K. & OXENHAM, A. J. 2003. Effects of simulated cochlear-implant processing on speech reception in fluctuating maskers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 114, 446-454.
- RADER, T., ADEL, Y., FASTL, H. & BAUMANN, U. 2015. Speech perception with combined electric-acoustic stimulation: a simulation and model comparison. *Ear and hearing*, 36, e314-e325.
- RADER, T., FASTL, H. & BAUMANN, U. 2013. Speech perception with combined electric-acoustic stimulation and bilateral cochlear implants in a multisource noise field. *Ear and hearing*, 34, 324-332.
- RUBINSTEIN, J. T. 2004. How cochlear implants encode speech. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 12, 444-448.
- RUDNER, M., RÖNNBERG, J. & LUNNER, T. 2011. Working memory supports listening in noise for persons with hearing impairment. *Journal of the American Academy of Audiology*, 22, 156-167.
- SCHIRKONYER, V., KEILMANN, A., HARMUTH, C., WACHTLIN, B., RADER, T. & BOHNERT, A. 2019. Der neue Mainzer Sprachtest für Kinder 3–7 Jahre (MATCH). *HNO*, 1-8.
- SCHNEIDER-STICKLER, B. & BIGENZAHN, W. 2013. *Stimm diagnostik: ein Leit faden für die Praxis*, Wien, Springer-Verlag.
- SHARMA, S., TRIPATHY, R. & SAXENA, U. 2017. Critical appraisal of speech in noise tests: a systematic review and survey. *International Journal of Research in Medical Sciences*, 5, 13-21.
- SIMPSON, A. P. 2009. Phonetic differences between male and female speech. *Language and linguistics compass*, 3, 621-640.
- SKUK, V. G. & SCHWEINBERGER, S. R. 2014. Influences of fundamental frequency, formant frequencies, aperiodicity, and spectrum level on the perception of voice gender. *Journal of Speech, Language, Hearing Research*.
- SMITH, Z. M., DELGUTTE, B. & OXENHAM, A. 2002. Chimaeric sounds reveal dichotomies in auditory perception. *Nature*, 416, 87.
- SMITS, C. 2016. Comment on 'International collegium of rehabilitative audiology (ICRA) recommendations for the construction of multilingual speech tests', by Akeroyd et al. *International Journal of Audiology*, 55, 268-271.
- SOLI, S. & HART, J. 2012. *HINT PV User Manual*. Hearing Test Systems, LLC, and House Research Institute.
- SOLI, S. D. 2008. Some thoughts on communication handicap and hearing impairment. *International journal of audiology*, 47, 285-286.
- SOLI, S. D. & WONG, L. L. 2008. Assessment of speech intelligibility in noise with the Hearing in Noise Test. *International Journal of Audiology*, 47, 356-361.
- SPITZER, S., LISS, J., SPAHR, T., DORMAN, M. & LANSFORD, K. 2009. The use of fundamental frequency for lexical segmentation in listeners with cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125, EL236-EL241.

- STEFFENS, T. 2016. Verwendungshäufigkeit der Freiburger Einsilber in der Gegenwartssprache. HNO, 64, 549-556.
- STEFFENS, T. 2017. Die systematische Auswahl von sprachaudiometrischen Verfahren. HNO, 65, 219-227.
- STICKNEY, G. S., ASSMANN, P. F., CHANG, J. & ZENG, F.-G. 2007. Effects of cochlear implant processing and fundamental frequency on the intelligibility of competing sentences. The Journal of the Acoustical Society of America, 122, 1069-1078.
- TITZE, I. R. 1989. Physiologic and acoustic differences between male and female voices. The Journal of the Acoustical Society of America, 85, 1699-1707.
- VERMIGLIO, A. J. 2008. The American English hearing in noise test. International Journal of Audiology, 47, 386-387.
- VERMIGLIO, A. J., SOLI, S. D., FREED, D. J. & FISHER, L. M. 2012. The relationship between high-frequency pure-tone hearing loss, hearing in noise test (HINT) thresholds, and the articulation index. Journal of the American Academy of Audiology, 23, 779-788.
- VON BÉKÉSY, G. & WEVER, E. G. 1960. Experiments in Hearing, New York, McGraw-Hill.
- WAGENER, K., BRAND, T. & KOLLMEIER, B. 1999b. Entwicklung und Evaluation eines Satztests in deutscher Sprache II: Optimierung des Oldenburger Satztests. Zeitschrift für Audiologie, 38 (2), 44-56.
- WAGENER, K., BRAND, T. & KOLLMEIER, B. 1999c. Entwicklung und Evaluation eines Satztests in deutscher Sprache III: Evaluation des Oldenburger Satztests. Zeitschrift für Audiologie, 38 (3), 86-95.
- WAGENER, K. & KOLLMEIER, B. 2004. Göttinger und Oldenburger Satztest. Z Audiologie, 43, 134-141.
- WAGENER, K., KÜHNEL V. , V. & BIRGER, K. 1999a. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache: I: Design des Oldenburger Satztests. Zeitschrift für Audiologie, 38 (1), 4-14.
- WHO 2001. Grades of hearing impairment (Internet), Zitiert am 27.06.2019, URL: https://www.who.int/pbd/deafness/hearing_impairment_grades/en/.
- WINKLER, A. & HOLUBE, I. 2016. Test-Retest-Reliabilität des Freiburger Einsilbertests. HNO, 64, 564-571.
- YOHO, S. E., BORRIE, S. A., BARRETT, T. S. & WHITTAKER, D. B. 2019. Are there sex effects for speech intelligibility in American English? Examining the influence of talker, listener, and methodology. Attention, Perception, Psychophysics, 81, 558-570.
- YUND, E. W. & WOODS, D. L. 2010. Content and procedural learning in repeated sentence tests of speech perception. Ear & Hearing, 31, 769-778.
- ZENNER, H.-P. 2011. Die Kommunikation des Menschen: Hören und Sprechen. In: SCHMIDT, R. F., LANG, F. & HECKMANN, M. (eds.) Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie. Heidelberg: Springer-Verlag.
- ZÜST, H. & TSCHOPP, K. 1995. Der Kontexteffekt bei der Spracherkennung von Sätzen. Laryngo-Rhino-Otologie, 74, 375-379.
- ZWICKER, E. & FASTL, H. 2006. Psychoacoustics: Facts and Models, München, Springer Science & Business Media.

8 ANHANG

8.1 Satzlisten des HINT

Liste 1

Die Farbe tropft auf den Boden
 Sie trinkt aus der blauen Tasse
 Sie hatten viel Spaß beim Training
 Das Mädchen lacht auf dem Foto
 Die Blätter wurden gelb und braun
 Die Mutter hatte einen Schirm
 Die Kinder essen Kuchen
 Die Familie kauft ein Haus
 Die Maschine ist kaputt
 Die Schuhe passen zum Kleid
 Die Kinder waren im Wald
 Das Kind hat großen Hunger
 Der Junge musste laut lachen
 Das Kind möchte auf den Spielplatz
 Die Eltern waren im Kino
 Das Essen war sehr teuer
 Die Bäckerei hat geöffnet
 Mutter wartet am Ausgang
 Er wäscht seine Hände mit Seife
 Die Schule fängt um acht an

Liste 3

Hasen essen gerne Möhren
 In der Pause kann man essen
 An Ostern gibt es Eier
 Sie reiten durch die Wüste
 Alles steht auf dem Zettel
 Sie schreibt ihrem Freund jeden Tag
 Die Mutter streichelt die Katze
 Der Boden war sehr trocken
 Kinder trinken gerne Saft
 Die Kinder gehen in den Zoo
 Das Wasser ist im Rucksack
 Das Mädchen träumt von Schafen
 Die Eltern trinken Kaffee
 Es gab viele Probleme
 Der Teller ist sehr heiß
 Die Mutter gießt die Blumen

Liste 2

Die Seife ist leider leer
 Die Küchenuhr geht nicht richtig
 Das Kind badet in der Wanne
 Die Hochzeit ist in der Kirche
 Die Mannschaft muss trainieren
 Das Küchenfenster war sauber
 Ein kleiner Fisch schwimmt im Teich
 Die Familie mag Fisch
 Er hatte einen Auftritt
 Die Mutter holt die Kinder
 Die Prinzessin ist in der Burg
 Neue Nachbarn ziehen ein
 Die Schere war wirklich sehr scharf
 Die Kinder malen Bilder
 Der Hase braucht sein Futter
 Der Lehrer schreibt an die Tafel
 Die Tasche war sehr teuer
 Ein Bauer braucht einen Traktor
 Sie mögen Marmelade
 Der Regenbogen war schön

Liste 4

Das Puzzle hat viele Teile
 Das Kind spielt auf der Wiese
 Es wird sehr kalt hier drinnen
 Sie hatten einen schönen Tag
 Der Laden macht Mittagspause
 In der Wüste gibt es Sand
 Die Schweine quieken im Stall
 Die Kinder tragen Kostüme
 Sie tragen zusammen den Tisch
 Ihre Schwester bleibt zum Essen
 Sie kommen zum Abendessen
 Die Getränke sind im Keller
 Das Mädchen isst Brot mit Käse
 Der Junge hatte einen Schirm
 Die Tassen stehen auf dem Tisch
 Der Junge spielt am Computer

Die Frau wurde gerettet
 Das Mädchen steht auf der Brücke
 Der Mann verkauft Luftballons
 Im Brunnen ist viel Wasser

Liste 5

Sie ruft einen Krankenwagen
 Das Geschirrtuch war sehr nass
 Zucker schmeckt immer sehr süß
 Der Jäger schießt auf den Hirsch
 Das Kind versucht zu laufen
 Das Kind schneidet das Blatt durch
 Das Mädchen kann nichts hören
 Die Frau hat rote Haare
 Der Zug hält am Hauptbahnhof
 Der Wind weht über den See
 Die Mädchen spielen mit Puppen
 Der Baum ist sehr alt und groß
 Das Kind war gestern sehr müde
 Im Lastwagen sind Äpfel
 Die Kinder basteln Laternen
 Der Junge war abgelenkt
 Sie nimmt den Löffel zum Essen
 Im Obstsalat sind Bananen
 Das Feuer war sehr heiß
 Das Auto steht an der Ampel

Liste 7

Der Junge gab ihr einen Kuss
 Die Mutter schneidet die Nägel
 Seine Hand war gebrochen
 Die Familie ist am Strand
 Das Mädchen hat eine Brille
 Ein Junge macht einen Handstand
 Die Schule war heute früh aus
 Die Mutter liest die Anleitung
 Das Mädchen kauft Sandalen
 Es gab ein schlimmes Unglück
 Sie feiern ein großes Fest
 Der Ball wurde hoch geschossen
 Die Kinder gehen nach Hause
 Die Kinder spielen gemeinsam
 Die Familie steht im Stau

Das Mädchen trinkt Limonade
 Die Kinder schlafen im Zelt
 Der Junge kaut Kaugummi
 Die Stadt sieht wunderschön aus

Liste 6

Sie hatten zwei leere Flaschen
 Die Mutter schüttelt den Kopf
 Das Fußballspiel ist vorbei
 Die Kinder bekommen Kuchen
 Die Katze liegt auf dem Bett
 Die Handtücher sind im Regal
 Der große Junge wirft den Ball
 Ein Junge läuft auf dem Weg
 Die Kinder waren neugierig
 Die zwei Kinder haben gelacht
 Der Bauer mistet den Stall aus
 Die Frau verpasst ihren Flug
 Die Familie zieht um
 Das Bild ist aus einem Buch
 Die Streichhölzer sind im Regal
 Der große Fisch ist verschwunden
 Der Ball ging an den Pfosten
 Der Junge sammelt die Eier
 Im Keller sind Kartoffeln
 Die Katze fängt eine Maus

Liste 8

Die Mutter kocht eine Suppe
 Die Zwillinge sehen gleich aus
 Der alte Mann war traurig
 Beim Bäcker gibt es Brötchen
 Der Flur wurde gestern geputzt
 Der Bauer hatte vier Kühe
 Sie wäscht ihr neues T-Shirt
 Sie räumen das Zimmer auf
 Kartoffeln wachsen im Garten
 Er hängt seine Jacke auf
 Sie kaufen frische Brötchen
 Die Kuh wird täglich gemolken
 Das Kind hat Angst vor Hunden
 Die Mutter braucht Erdbeeren
 Der Junge fährt mit dem Roller

Ihre Schuhe sind sehr schön
 Die Bananen sind schon braun
 Die kleine Tomate ist grün
 Die Frau sitzt in ihrem Sessel
 Das Mädchen schaukelt sehr hoch

Liste 9

Sie hört ein lustiges Geräusch
 Die Eltern helfen den Nachbarn
 Am Abend sieht man Sterne
 Die zwei Bauern arbeiten
 Der Junge macht nur Unsinn
 Der Nachbar hat schwarze Haare
 Der Nachbar hört laut Musik
 Sie warten vor dem Eingang
 Die Kinder mögen Erdbeeren
 Sie rennen direkt nach Hause
 Apfelsaft kann man trinken
 Die Mutter rührt in der Schüssel
 Der Junge schlägt das Mädchen
 Die Wäsche hängt an der Leine
 Eine Frau wäscht ihre Kleider
 Das Kind hüpfte auf der Matratze
 Regen ist gut für Pflanzen
 Das Haus hat neun Schlafzimmer
 Sie möchte gerne duschen
 Es gab keine Marmelade

Liste 11

Ein Mann repariert den Tisch
 Wir durften ein Eis essen
 Sie spielt mit ihrer Freundin
 Seine Socken sind gestreift
 Der Junge hat einen Gips
 Im Winter fällt oft Schnee
 Der Wassereimer war schnell voll
 Das war ein lustiges Spiel
 Meine Mutter trinkt ihren Tee
 Ein Mädchen wäscht ihre Haare
 Der Vater musste ins Büro
 Die Mutter kocht Soße im Topf
 Der Vater schraubt das Regal fest
 Das kleine Mädchen ist glücklich

Oma ging in die Kirche
 Das Baby ist geboren
 Kurz vor dem Ziel fällt sie hin
 Pferde sind größer als Ponys
 Er rutscht den Hang hinunter

Liste 10

Die Zeitung ist im Briefkasten
 Der Junge stellt eine Frage
 Das Laub liegt auf der Straße
 Ihre Schuhe sind schmutzig
 Die Lehrerin bastelt Karten
 Der Junge ist unglücklich
 Er freut sich über den Besuch
 Das Mädchen hat aufgepasst
 Die Feldmaus findet Käse
 Das Mädchen war sehr hungrig
 Der Apfel ist sehr sauer
 Das Mädchen zieht ein Kleid an
 Der Chor singt in der Kirche
 Die Mädchen spielen Handball
 Der Saft schmeckt nach Zitrone
 Das Mädchen spielt mit dem Baby
 Das Mädchen muss noch duschen
 Sein Bruder hat sich versteckt
 Männer tragen lange Hosen
 Manche Tiere schlafen auf Stroh

Liste 12

Der Apfelkuchen schmeckt sehr gut
 Sie klettern auf einen alten Baum
 Ein Junge rennt auf die Straße
 Die Backofentür war offen
 Die Kinder sammeln Muscheln
 Die Mutter hatte Besuch
 Der Mann hat eine Mütze auf
 Sie haben Kaffee getrunken
 Sie sitzen um das Feuer
 Der Hausmeister kehrt den Flur
 Die neue Straße ist fertig
 Erdbeermarmelade schmeckt süß
 Die Mannschaft steht auf dem Platz
 In der Dose sind Gurken

Die Decke ist kuschelig
 Die Waschmaschine ist fertig
 Die Kinder waren in der Stadt
 Sie fahren zur Tankstelle
 Der Zug hatte Verspätung
 Die Flasche ist im Regal

Das Auto fährt um die Ecke
 Die Kinder sangen ein Lied
 In der Nacht ist es dunkel
 Die alte Frau war zu Hause
 Das Wasser im Teich war schmutzig
 Die Spülmaschine ist leer

8.2 Protokoll zum Matching (Graeco-Latin-Square-Design) des weiblichen und männlichen HINT, Normalhörende Probanden und Probandinnen

			Satzliste					
	Task	Proband	S1	S3	S5	S7	S9	S11
männlicher HINT	1		1	2	3	4	5	6
	2		2	3	4	5	6	1
	3		3	4	5	6	1	2
	4		4	5	6	1	2	3
	5		5	6	1	2	3	4
	6		6	1	2	3	4	5
weiblicher HINT	7		7	8	9	10	11	12
	8		8	9	10	11	12	7
	9		9	10	11	12	7	8
	10		10	11	12	7	8	9
	11		11	12	7	8	9	10
	12		12	7	8	9	10	11

			Satzliste					
	Task	Proband	S2	S4	S6	S8	S10	S12
weiblicher HINT	1		1	2	3	4	5	6
	2		2	3	4	5	6	1
	3		3	4	5	6	1	2
	4		4	5	6	1	2	3
	5		5	6	1	2	3	4
	6		6	1	2	3	4	5
männlicher HINT	7		7	8	9	10	11	12
	8		8	9	10	11	12	7
	9		9	10	11	12	7	8
	10		10	11	12	7	8	9
	11		11	12	7	8	9	10
	12		12	7	8	9	10	11

8.3 Studienprotokoll der Probanden und Probandinnen mit Cochlea Implantat

Probandennummer	Testkondition	Listennummer
Subject CI 1/ 11	Male Training	6
	Female Training	2
	Male Test	5
	Male Retest	3
	Female Test	7
	Female Retest	8
	Male Quiet	10
	Female Quiet	12
	OLSA Training	
	OLSA Test	
Subject CI 2/12	Female Training	8
	Male Training	2
	Female Test	3
	Female Retest	5
	Male Test	9
	Male Retest	11
	Female Quiet	4
	Male Quiet	6
	OLSA Training	
	OLSA Test	
Subject CI 3/13	OLSA Training	
	OLSA Test	
	Male Training	10
	Female Training	7
	Male Test	3
	Male Retest	6
	Female Test	12
	Female Retest	5
	Male Quiet	2
	Female Quiet	11
Subject CI 4	OLSA Training	
	OLSA Test	

XVI

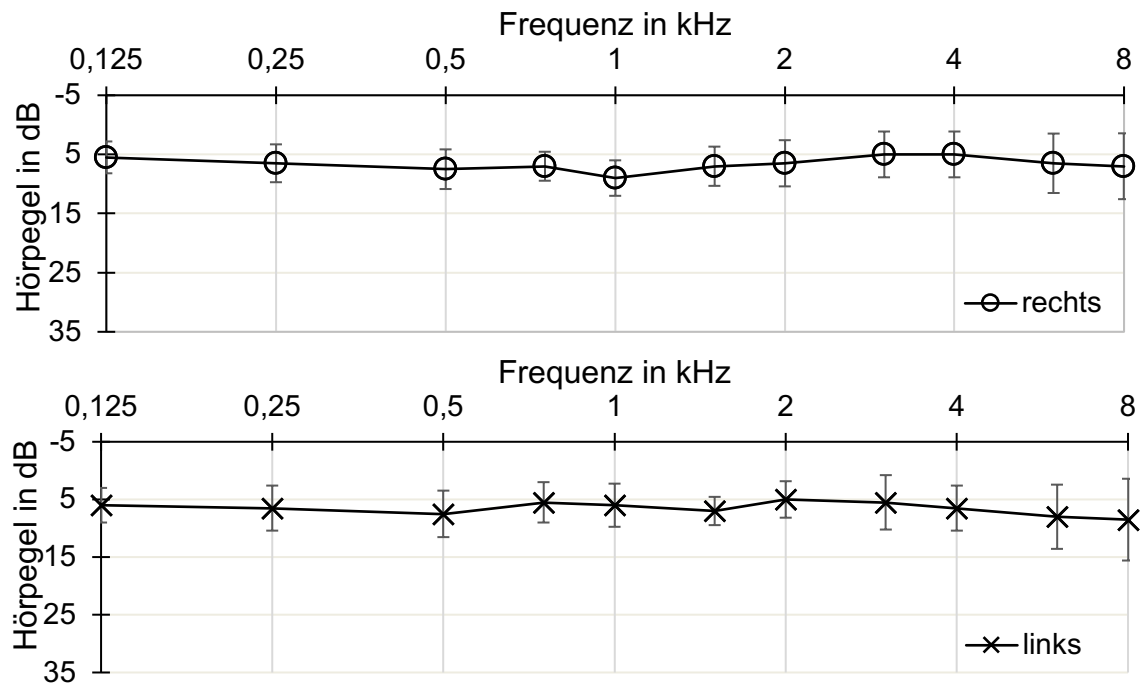
	Female Training	12
	Male Training	1
	Female Test	5
	Female Retest	2
	Male Test	3
	Male Retest	10
	Female Quiet	8
	Male Quiet	6
Subject CI 5	Male Training	7
	Female Training	9
	Male Test	10
	Male Retest	4
	Female Test	11
	Female Retest	5
	Male Quiet	2
	Female Quiet	8
	OLSA Training	
	OLSA Test	
Subject CI 6	Female Training	8
	Male Training	9
	Female Test	11
	Female Retest	12
	Male Test	6
	Male Retest	4
	Female Quiet	1
	Male Quiet	10
	OLSA Training	
	OLSA Test	
Subject CI 7	OLSA Training	
	OLSA Test	
	Male Training	10
	Female Training	4
	Male Test	12
	Male Retest	5
	Female Test	6

XVII

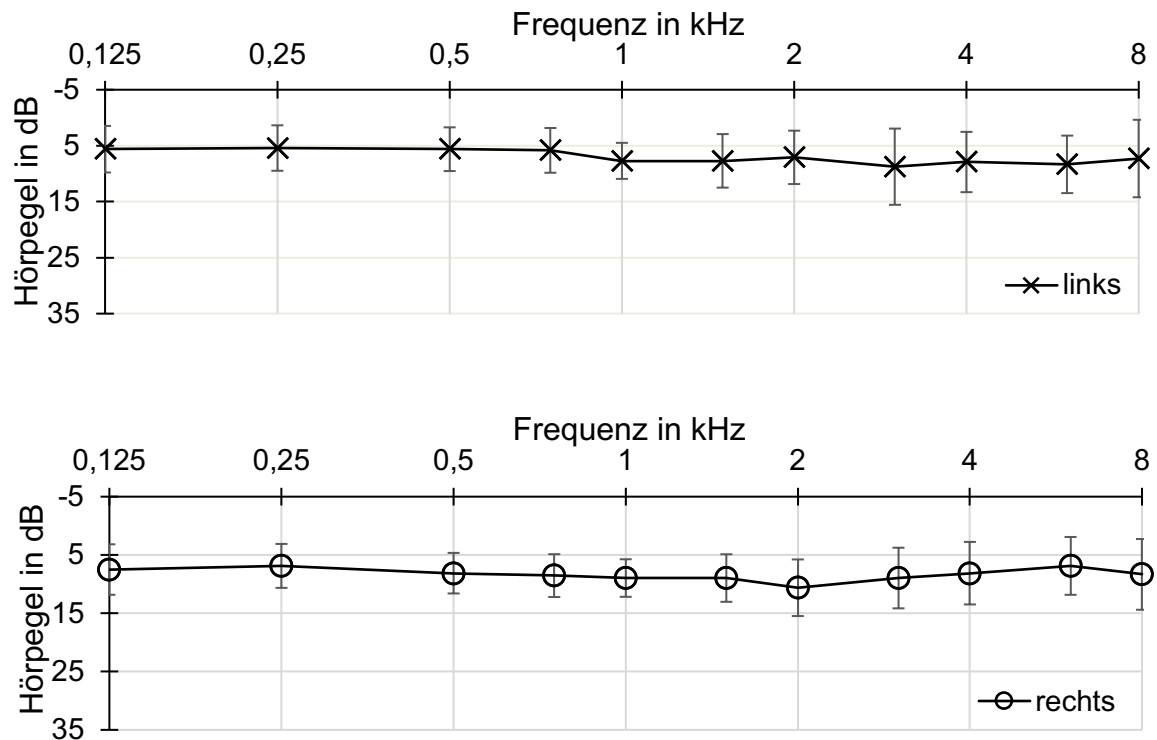
	Female Retest	7
	Male Quiet	3
	Female Quiet	11
Subject CI 8	OLSA Training	
	OLSA Test	
	Female Training	3
	Male Training	1
	Female Test	7
	Female Retest	11
	Male Test	4
	Male Retest	12
	Female Quiet	8
	Male Quiet	6
Subject CI 9	Male Training	10
	Female Training	8
	Male Test	11
	Male Retest	6
	Female Test	3
	Female Retest	4
	Male Quiet	5
	Female Quiet	7
	OLSA Training	
	OLSA Test	
Subject CI 10	Female Training	12
	Male Training	1
	Female Test	5
	Female Retest	11
	Male Test	10
	Male Retest	3
	Female Quiet	6
	Male Quiet	7
	OLSA Training	
	OLSA Test	

8.4 Tonaudiogramm

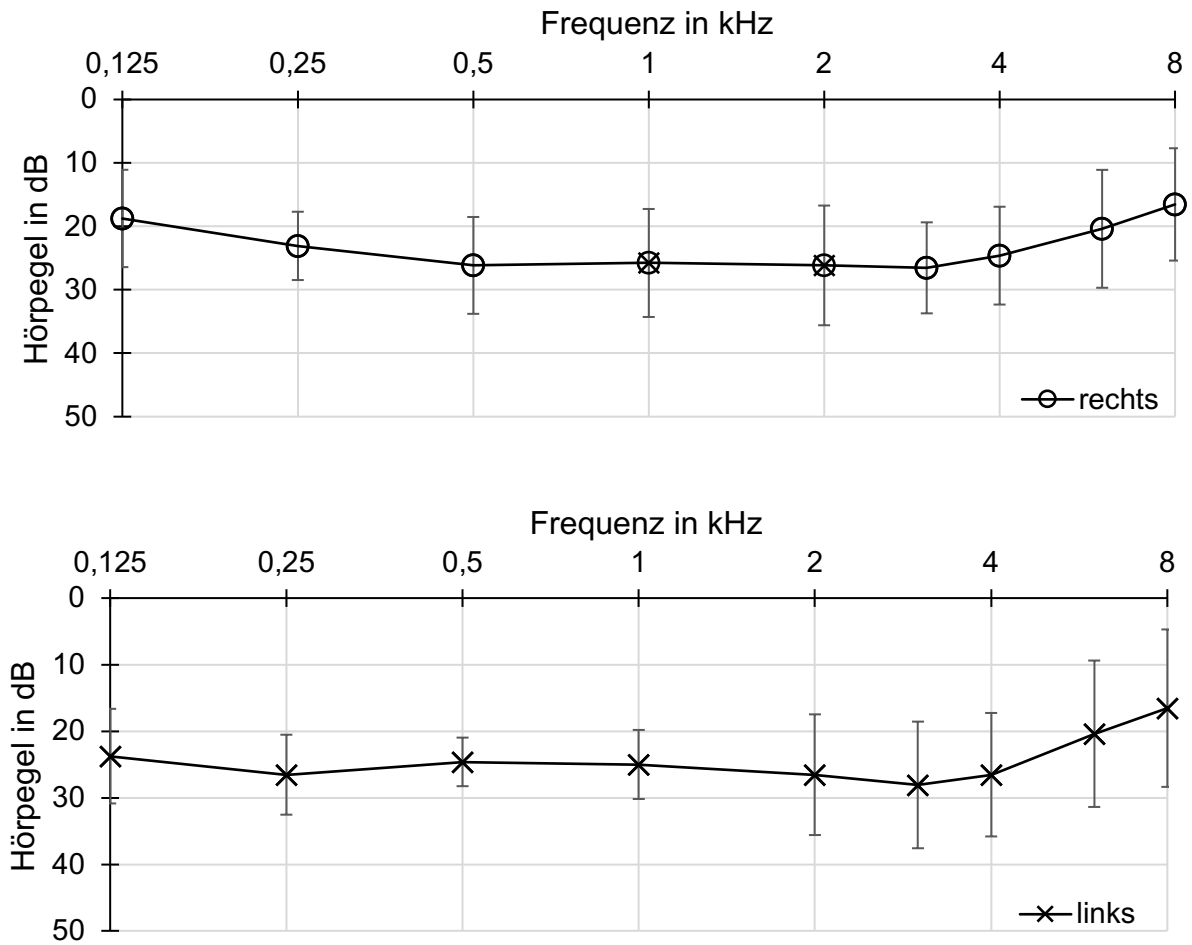
8.4.1 Probandenkollektiv, der Messungen zur Generierung der PI-Funktion für den HINT mit weiblicher Sprecherin (n = 10)



8.4.2 Probandenkollektiv der Evaluationsmessungen des HINT mit weiblicher Sprecherin, männlichem Sprecher und des OLSA (n = 24)



8.5 Aufblähkurve des Probandenkollektiv mit Cochlea Implantat (n = 13)



8.6 Ergänzende SRT-Werte der NH-Probanden und -Probandinnen

Tabelle 17, SRT [dB SNR] bzw. [dB] der ersten sechs HINT-Messungen und des NCS eines jeden Probanden in Abhängigkeit vom Geschlecht des HINT-Sprechers (n = 24)

HINT	SRT	S0N0 Training (HP)	S0N0 Test (HP)	S0N90 (HP)	S0N270 (HP)	Ruhe (HP)	Ruhe (SF)	NCS
Weibliche Sprecherin	MW	-5,51	-6,29	-14,02	-14,78	19,09	16,26	-10,35
	SD	0,81	0,89	1,30	1,55	2,20	1,47	0,65
Männlicher Sprecher	MW	-5,33	-5,84	-14,09	-14,75	17,85	15,14	-10,13
	SD	1,08	0,63	0,83	1,00	2,51	2,14	0,47

8.7 Übersicht der Probanden und Probandinnen mit Cochlea Implantat

CI-ID Nr.	Alter bei Studien- Teilnahme [Jahren]	Geschlecht m- männlich w- weiblich	Ohrseite	Implantat	Elektrode	Audio- prozessor	Ätiologie der Schwerhörigkeit	Beginn der Schwerhörigkeit (HG-Versorgung)	Implantation des aktuellen bzw. (ersten) CI [Monat/ Jahr]
1*	65	m	rechts	MED-EL Concerto	FLEX 20	Sonnet	unbekannt	ca. 1980 (HG seit >20 Jahren)	11/2010
			links	MED-EL Synchrony	FLEX 28	Sonnet	unbekannt	ca. 1980 (HG seit >20 Jahren)	06/2016 (04/2010)
2	50	w	rechts	MED-EL Sonata ti100	Standard	Opus-2	akute Ertaubung	08/2007	07/2008
			links	MED-EL Sonata ti100	Standard	Opus-2	unbekannt	seit der Kindheit (zunächst HG-Ver- sorgung)	11/2007
3	23	w	rechts	MED-EL Synchrony	FLEX 24	Sonnet	unbekannt	seit der Kindheit (zunächst HG- Versorgung)	03/2017
			links	MED-EL Concerto	FLEX 28	Rondo	Unbekannt	seit der Kindheit (zunächst HG- Versorgung)	04/2013

4	22	m	rechts	Advanced Bionics HiRes Ultra 3D	HiFocus SlimJ-Elektrode	Naida CI Q90	unbekannt	seit der Geburt (erstes HG mit 6 Jahren)	12/2018
			links	Advanced Bionics HiRes Ultra 3D	HiFocus SlimJ-Electrode	Naida CI Q90	unbekannt	seit der Geburt (erstes HG mit 6 Jahren)	12/2018
5	39	w	rechts	MED-EL Concerto	FLEX 28	Rondo	unbekannt	seit der Kindheit (erstes HG mit 12 Jahren)	04/2014
			links	MED-EL Synchrony	FLEX 28	Rondo	unbekannt	seit der Kindheit (erstes HG mit 29 Jahren)	10/2014
6	60	m	rechts	MED-EL Sonata ti100	Standard	Sonnet	Progediente SH	Beginn mit ca. 40 LJ (zunächst HG-Versorgung)	03/2008
			links	MED-EL Sonata ti100	Standard	Sonnet	Progediente SH bei Morbus Menière	Beginn mit ca. 40 LJ (zunächst HG-Versorgung)	07/2009

7*	34	w	rechts	NUCLEUS 5, CI512	Contour Advance Elektrode	CP810	unbekannt	Beginn mit dem 9 LJ (zunächst HG- Versorgung)	11/2010
			links	NUCLEUS 5, CI422	Slim Strai- ght Elekt- rode	CP810	unbekannt	Beginn mit dem 9 LJ (zunächst HG- Versorgung)	04/2012
8	84	m	rechts	NUCLEUS 7, CI522	Slim Strai- ght Elekt- rode	Typ CP1000	Progediente SH, Hörsturz 2011	Beginn mit ca. 75 LJ (zunächst HG- Versorgung)	04/2019
			links	NUCLEUS 6, CI422	Slim Strai- ght Elekt- rode	Typ CP910	Progediente SH, Hörsturz 2010	Beginn mit ca. 75 LJ (zunächst HG- Versorgung)	06/2014
9	41	w	rechts	MED-EL Concerto	FLEX 28	Opus 2	unbekannt bei Turner-Syndrom	seit der Kindheit (zu- nächst HG-Versor- gung)	06/2012
			links	MED-EL Concerto	FLEX 28	Opus 2	unbekannt bei Turner-Syndrom	seit der Kindheit (zu- nächst HG-Versor- gung)	01/2013
10	18	w	rechts	MED-EL Pul- sarci100	Standard	Opus 2	unbekannt	seit der Geburt (zunächst HG- Versorgung)	06/2004
			links	MED-EL	Standard	Opus 2	unbekannt	seit der Geburt	02/2007

XXIII

				Pul-sarci100				(zunächst HG-Versorgung)	
11	18	w	rechts	MED-EL Combi 40+	Standard	Opus 2	unbekannt	vermutlich seit der Geburt (erstes HG mit 3 Jahren)	12/2003
			links	MED-EL Concerto	Standard	Opus 2	unbekannt	vermutlich seit der Geburt (erstes HG mit 3 Jahren)	03/2013
12	21	m	rechts	MED-EL Pul-sarci100	Standard	Sonnet	unbekannt	vermutlich nach dem ersten LJ (zunächst HG-Versorgung)	04/2006
			links	MED-EL Combi 40+	Standard	Sonnet	unbekannt	vermutlich nach dem ersten LJ (zunächst HG-Versorgung)	02/2004 (03/2000)
13	56	m	rechts	MED-EL Concerto	Standard	Opus 2	Progrediente SH	Beginn mit ca. 35 LJ (zunächst HG-Versorgung)	11/2010
			links	MED-EL Concerto	Standard	Opus 2	Progrediente SH	Beginn mit ca. 35 LJ (zunächst HG-Versorgung)	08/2013

* Die Probanden 1 und 7 wurde von der Studie ausgeschlossen (siehe Kapitel 4.1).