

Aus der  
Universitätsklinik für Hals-, Nasen und Ohrenheilkunde  
Hörforschungszentrum Tübingen

**Hörverbesserung und Verbesserung der Lebensqualität  
durch CI-Versorgung bei einseitiger Ertaubung**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Gamerdinger, Philipp Maximilian**

**2021**

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor H. Löwenheim

2. Berichterstatter: Professor A. Gharabaghi

Tag der Disputation: 24.02.2022

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Einleitung.....	1
1.1 Grundlagen des Hörens.....	2
1.1.1 Anatomie des Ohres .....	2
1.1.2 Physiologie des Hörvorgangs.....	5
1.2 Grundlagen der Cochlea-Implantat-Versorgung.....	8
1.2.1 Technische Grundlagen - Implantat und Sprachprozessor .....	10
1.2.2 Operationstechnik und Operationsrisiken.....	11
1.2.3 Nachsorge und Anpassung des Sprachprozessors.....	13
1.2.3.1 Anpassung des Sprachprozessors.....	14
1.2.3.2 Hörtraining mit Cochlea-Implantat bei einseitiger Versorgung.....	15
1.3 CI-Implantation bei einseitiger Ertaubung.....	15
1.3.1 Ursachen einseitiger Schallempfindungsschwerhörigkeit.....	16
1.3.2 Prävalenz und Auswirkungen der einseitigen Ertaubung.....	17
1.3.3 Entwicklung der Cochlea-Implantat Versorgung bei einseitiger Ertaubung .....	20
1.4 Fragestellung der vorliegenden Studie.....	25
2. Material und Methoden .....	27
2.1 Aufbau der vorliegenden Studie .....	27
2.2 Internationaler Konsensus zum Aufbau von Studien über die CI-Implantation bei einseitig ertaubten Patienten .....	28
2.3 Patientenkollektiv .....	30
2.3.1 Auswahl der einseitig ertaubten Patienten .....	30
2.3.2 Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien für erwachsene Patienten.....	30
2.3.3 Unterteilung der erwachsenen Patienten in Untergruppen.....	32
2.3.4 Einschlusskriterien der beschriebenen Kinder.....	35
2.4 Methoden .....	36
2.4.1 Audiologische Untersuchungen.....	36
2.4.1.1 Aufbau und Durchführung der audiologischen Untersuchungen.....	36
2.4.1.2 Reintonaudiometrie (RTA) .....	37
2.4.1.3 Freiburger Sprachtest.....	38
2.4.1.4 Oldenburger Satztest.....	39
2.4.1.5 Mainzer Kindersprachtest .....	42
2.4.1.6 Göttinger Kindersprachtest.....	43

2.4.2 Fragebögen .....	43
2.4.2.1 Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire (NCIQ) .....	43
2.4.2.2 Allgemeine Depressionsskala (ADS) .....	45
2.4.2.3 Dizziness Handicap Inventory (DHI) .....	46
2.4.2.4 Tinnitus-Fragebogen nach Goebel und Hiller .....	47
2.5. Datenerfassung und Analyse.....	48
2.5.1 Erfassung und Eingabe der Daten in eine Access Datenbank .....	48
2.5.2 Statistische Bearbeitung und Analyse der Daten .....	48
3. Ergebnisse .....	50
3.1 Erwachsene Patienten .....	50
3.1.1 Beschreibung des Patientenkollektivs.....	50
3.1.2 Reintonaudiometrie .....	56
3.1.2.1 Reintonaudiometrie des normalhörigen Ohres.....	56
3.1.2.2 Verlauf der Reintonaudiometrie des SSD-Ohres .....	59
3.1.3. Freiburger Sprachtest – Sprachverständnis in Ruhe.....	60
3.1.3.1 Verlauf des Sprachverständnisses in Ruhe .....	61
3.1.3.2 Einfluss der Ertaubungsursache auf das Sprachverständnis in Ruhe.....	65
3.1.3.3 Einfluss der Ertaubungsdauer auf das Sprachverständnis in Ruhe.....	67
3.1.3.4 Einfluss des Alters auf das Sprachverständnis in Ruhe .....	68
3.1.3.5 Einfluss von möglicherweise kongenitaler Ertaubung auf das Sprachverständnis in Ruhe .....	70
3.1.3.6 Einfluss von präoperativem Resthörvermögen auf das postoperative Sprachverständnis.....	71
3.1.3.7 Patienten ohne freies Sprachverständnis zum Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung .....	71
3.1.4 Oldenburger Satztest – Sprachverständnis im Störgeräusch.....	73
3.1.4.1 Verlauf des Sprachverständnis im Störgeräusch .....	74
3.1.4.2 Einfluss der Ertaubungsursache auf das Sprachverständnis im Störgeräusch	86
3.1.4.3 Einfluss der Ertaubungsdauer auf das Sprachverständnis im Störgeräusch ....	88
3.1.4.4 Einfluss des Sprachverständnisses des SSD Ohrs in Ruhe auf das Sprachverständnis im Störgeräusch.....	89
3.1.4.5 Einfluss des Alters auf das Sprachverständnis im Störgeräusch .....	90
3.1.4.6 Einfluss des Tonhörvermögens des normalhörigen Ohres auf das Sprachverständnis im Störgeräusch.....	90

3.1.4.7 Vergleich des Sprachverständnis im Störgeräusch bei CROS- Versorgung und CI-Versorgung.....	92
3.1.4.8 Vergleich des Sprachverständnis im Störgeräusch bei Knochenleitungshörgerät und CI-Versorgung.....	94
3.1.5 Ergebnisse der erhobenen Fragebögen .....	96
3.1.5.1 Allgemeine Depressionsskala .....	96
3.1.5.1.1 Verlauf der Ergebnisse der ADS .....	96
3.1.5.1.2 Einfluss des Sprachverständnisses in Ruhe und im Störgeräusch auf die Ergebnisse der ADS.....	98
3.1.5.2 Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire.....	98
3.1.5.2.1 Verlauf der Ergebnisse des NCIQ.....	99
3.1.5.2.2 Einfluss des Sprachverständnis in Ruhe und im Störgeräusch auf die Ergebnisse des NCIQs .....	104
3.1.5.2.3 Zusammenhang zwischen dem Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala und den Ergebnissen des NCIQs.....	106
3.1.5.3 Dizziness Handicap Inventory.....	108
3.1.5.4 Tinnitus-Fragebogen nach Goebel und Hiller .....	110
3.1.5.4.1 Ergebnisse des Tinnitus-Fragebogens nach Goebel und Hiller .....	110
3.1.5.4.2 Einfluss des Sprachverständnisses in Ruhe und im Störgeräusch auf die Ergebnisse des Tinnitus-Fragebogens nach Goebel und Hiller.....	112
3.1.5.4.3 Zusammenhang zwischen dem Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala und den Ergebnissen des Tinnitus-Fragebogens nach Goebel und Hiller.....	112
3.1.6 Zusammensetzung und Ergebnisse der „non-User“ Gruppe.....	114
3.2 Ergebnisse der implantierten Kinder.....	116
3.2.1 Beschreibung des Patientenkollektivs.....	116
3.2.2 Reintonaudiometrie .....	118
3.2.2.1 Reintonaudiometrie des normalhörsigen Ohres.....	118
3.2.2.2 Reintonaudiometrie des ertaubten (SSD) Ohres .....	118
3.2.3. Sprachverständnis in Ruhe.....	119
3.2.4 Oldenburger Satztest - Sprachverständnis im Störgeräusch .....	123
4. Diskussion .....	126
4.1 Ein- und Ausschlusskriterien sowie Bildung von Gruppe A, B und C.....	126
4.2 Eingesetzte Methoden .....	127
4.3 Patientenkollektiv dieser Studie.....	128

4.4 Ergebnisse der Gruppen A und B im Vergleich zur Studienlage .....	131
4.4.1 Reintonaudiometrie .....	131
4.4.2 Sprachverständnis in Ruhe .....	132
4.4.3 Sprachverständnis im Störgeräusch.....	133
4.4.4 NCIQ Fragebogen .....	137
4.4.5 Auswirkungen der Ursache der einseitigen Ertaubung auf die Ergebnisse der Patienten.....	138
4.4.6 Auswirkungen der Dauer der einseitigen Ertaubung auf die Ergebnisse der Patienten.....	139
4.4.7 Cochlea Implantat Versorgung bei möglicherweise kongenitaler Ertaubung.....	141
4.5 Ergebnisse der Gruppe C im Vergleich zur Studienlage .....	142
4.5.1 CI-Implantation bei Patienten mit mangelhaften Deutschkenntnissen.....	142
4.5.2 CI-Implantation bei Fibrosierung der Cochlea .....	143
4.5.3 CI-Implantation bei intracochleärem Schwannom.....	144
4.5.4 CI-Implantation nach der Resektion eines Vestibularisschwannoms.....	145
4.5.5 CI-Implantation bei Resthörvermögen (PTA <70 dB Hörverlust).....	146
4.6 CI-Versorgung bei einseitig ertaubten Kindern .....	147
4.7 Kritik und Limitationen.....	150
5. Zusammenfassung .....	152
6. Liste der Veröffentlichungen.....	154
7. Literaturverzeichnis.....	155

## Abkürzungsverzeichnis

ADS	Allgemeine Depressionsskala
AHL	Asymmetric hearing loss
BAHA	Bone anchored hearing aid
BCD	bone conducting device
BKB-SIN	Bamford-Kowal-Bench speech in noise test
CCIC	Comprehensive Cochlear Implant Center Tübingen
CI	Cochlea-Implantat
CROS	contralateral routing of the signals
dB	Dezibel (Sound Pressure Level)
dB HV	Dezibel Hörverlust
dB SRV	Dezibel Signal-Rausch-Verhältnis
DHI	Dizziness Handicap Inventory
ED	Erstdiagnose
HG	Hörgerät
KL-HG	Knochenleitungshörgerät
NCIQ	Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire
OISa	Oldenburger Satztest
OP	Operation
PTA	Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz
RTA	Reintonaudiometrie
SSD	single-sided-deafness
SSQ	Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale
Tab.	Tabelle
z.B.	zum Beispiel

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ANATOMIE DES OHRES. DARGESTELLT SIND DAS ÄUßERE OHR, DAS MITTELOHR UND DAS INNENOHR. QUELLE: <a href="http://www.biographixmedia.com/human/ear-anatomy.html">HTTP://WWW.BIOGRAPHIXMEDIA.COM/HUMAN/EAR-ANATOMY.HTML</a> .....	3
ABBILDUNG 2: AUSSGUSSPRÄPARAT EINES INNENOHRS MIT COCHLEA (RECHTS) UND BOGENGÄNGEN (LINKS). QUELLE: VON WELLESCHIK - EIGENES WERK, CC BY-SA 3.0, <a href="https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1533174">HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/W/INDEX.PHP?CURID=1533174</a> .....	4
ABBILDUNG 3: QUERSCHNITT DURCH DIE COCHLEA. A: ÜBERSICHT, B: SV: SCALA VESTIBULI, ST: SCALA TYMPANI, EL: SCALA MEDIA, C: SCALA MEDIA (BLAU), D: OC: CORTIORGAN (GRÜN), BM: BASILARMEMBRAN, E: HISTOLOGIE CORTIORGAN, F: TEM: TEKTORIALMEMBRAN, IHC: INNERE HAARZELLE, OHC: ÄUßERE HAARZELLEN, ANF: AFFERENTES NEURON. GRAFIK NACH SALT ET AL. (2010) .....	6
ABBILDUNG 4: HÖRKURVE DES MENSCHEN. DER SPRACHBEREICH LIEGT 40 UND 80 DB IN DEN FREQUENZEN ZWISCHEN 0,2 UND 5 KHZ. QUELLE: <a href="http://www.bejenbach.de/physik/uhoer.htm">HTTP://WWW.BEYENBACH.DE/PHYSIK/UHOER.HTM</a> .....	8
ABBILDUNG 5: ÜBERSICHT ÜBER EIN COCHLEA-IMPLANTAT SYSTEM IN SITU. EIN COCHLEA-IMPLANTAT DER FIRMA MED-EL IST DARGESTELLT. ERSICHTLICH IST DER HINTER DEM OHR GETRAGENEN SPRACHPROZESSOR SOWIE DAS IMPLANTAT MIT REGELRECHTER INTRACOCHELEÄRER ELEKTRODENLAGE. DIE VERWENDUNG DER ABBILDUNG ERFOLGT MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG DER FIRMA MED-EL .....	9
ABBILDUNG 6: SPRACHPROZESSOREN UND IMPLANTAT DER FIRMA MEDEL. LINKS IST EIN SINGLE-UNIT SPRACHPROZESSOR (RONDO2®) ABGEBILDET, IN DER MITTE EIN HINTER DEM OHR GERÄT MIT SENDESPULE (SONNET2) UND RECHTS DAS IMPLANTAT (SYCHRONY2) MIT ELEKTRODE (UNTEN). DIE VERWENDUNG DER ABBILDUNG ERFOLGT MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG DER FIRMA MED-EL. 10	
ABBILDUNG 7: ELEKTRODENLAGE IN DER COCHLEA. DIE ELEKTRODE (SILBERN) LIEGT DEN AM MODIOLUS LIEGENDEN SPIRALGANGLIEN (SCHWARZ MIT EINZELNEN EINGEFÄRBTEN GANGLIEN) GEGENÜBER. DIE COCHLEA WIRD DURCH DAS GELBE GITTERLINIENNETZ SCHEMATISCH DARGESTELLT. QUELLE: <a href="http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/43e3246e-096b-4bfb-ae5b-cc398f02ce0d/en_product_cochlearimplant_demonstrationofcochlearimplantinsertedinsidethecochlea_humancochlea_551x285_173kb.jpg">HTTP://WWW.COCHLEAR.COM/WPS/WCM/CONNECT/43E3246E-096B-4BFB-AE5B-CC398F02CE0D/EN_PRODUCT_COCHLEARIMPLANT_DEMONSTRATIONOFCOCHLEARIMPLANTINSERTEDINSIDETHECOCHLEA_HUMANCOCHLEA_551X285_173KB.JPG</a> .....	12
ABBILDUNG 8: VERTEILUNG DER ERTAUBUNGSURSACHE IN GRUPPE A (LINKS, NACH INTERNATIONALEM KONSENSUS) UND GRUPPE B (RECHTS, MIT EINER ERTAUBUNGSDAUER ÜBER 15 JAHRE). IN GRUPPE A WAR HÖRSTURZ DIE DOMINIERENDE ERTAUBUNGSURSACHE, IN GRUPPE B WAR DIE ERTAUBUNGSURSACHE AM HÄUFIGSTEN UNBEKANNT .....	51
ABBILDUNG 9: VERTEILUNG DES ALTERS BEI ERTAUBUNG IN ZEITRÄUMEN VON 10 JAHREN IN GRUPPE A (LINKS) UND GRUPPE B (RECHTS). DIE ERTAUBUNGSURSACHE WURDE FARBLICH WIE IN ABB. 8. DARGESTELLT. ALLE PATIENTEN, DIE IM ALTER VON UNTER 3 JAHREN ERTAUBT SIND, FALLEN AUFGRUND DER ERTAUBUNGSDAUER (ÜBER 15 JAHRE BEI EINER OP MIT IM ALTER VON MINDESTENS 18 JAHREN) IN GRUPPE B. ....	52
ABBILDUNG 10: VERTEILUNG DER ERTAUBUNGSDAUER IN GRUPPE A (LINKS) UND GRUPPE B (RECHTE SÄULE). DIE ERTAUBUNGSURSACHE WURDE FARBLICH WIE IN ABB. 8. DARGESTELLT. DIE ERTAUBUNGSDAUER WURDE NACH MONATEN (M)	

- IN DEN LINKEN DREI SÄULEN UND NACH JAHREN (J) IN DEN RECHTEN VIER SÄULEN UNTERTEILT. IN GRUPPE A KAMEN KEINE PATIENTEN MIT EINER ERTAUBUNGSDAUER ÜBER 15 JAHREN VOR (AUSSCHLUSSKRITERIUM).....53
- ABBILDUNG 11: VERTEILUNG DES ALTERS BEI IMPLANTATION (BEI OP) IN ZEITRÄUMEN VON 10 JAHREN (12 JAHRE IM ZEITRAUM 18-30) IN GRUPPE A (LINKS) UND GRUPPE B (RECHTS). DIE ERTAUBUNGURSACHE WURDE FARBLICH WIE IN ABB. 8 DARGESTELLT .....54
- ABBILDUNG 12: REINTONAUDIMETRIE DES NORMALHÖRIGEN (NH) OHRS IN GRUPPE A UND GRUPPE B IN DB HÖRVERLUST. DIE MESSWERTE DER LETZTEN PRÄOPERATIVEN MESSUNG WURDEN IN BOX-WHISKER-PLOTS DARGESTELLT. AUSREIßER WURDEN ALS PUNKTE ABGEBILDET, DER MEDIAN DURCH DEN HORIZONTALEN STRICH IM BOX-PLOT. DIE EINZELNEN FREQUENZEN WURDEN IN GRAUSTUFEN KODIERT. DER PTA (PURE TONE AVERAGE, MITTELWERT DER FREQUENZEN 0,5; 1; 2 UND 4 KHZ) WURDE IM SCHWARZ GESTREIFTEN BOXPLOT DARGESTELLT. DER MEDIANE PTA LAG IN GRUPPE A BEI 10 DB HÖRVERLUST UND IN GRUPPE B BEI 13,75 DB HÖRVERLUST. DER UNTERSCHIED WAR IM MANN-WHITNEY-U-TEST NICHT SIGNIFIKANT.....57
- ABBILDUNG 13: KORRELATION ZWISCHEN ALTER BEI OP UND PURE TONE AVERAGE DES NORMALHÖRIGEN (NH) OHRS. DER PTA (PURE TONE AVERAGE, MITTELWERT DER FREQUENZEN 0,5; 1; 2 UND 4 KHZ) DER LETZTEN PRÄOPERATIVE REINTONAUDIOMETRIE WURDE GEGEN DAS ALTER DER PATIENTEN AUFGETRAGEN. ES LAGEN 108 PRÄOPERATIVE MESSUNGEN VON 110 PATIENTEN AUS GRUPPE A, B UND C VOR (2 EXTERN OPERIERTE, HIER WURDE DER ERSTE POSTOPERATIVE MESSWERT VERWENDET). DER PTA NAHM PRO LEBENSJAHR UM 0,22 DB HV ZU. DIE ZUSAMMENHANG WAR IN DER BIVARIANTEN REGERESSIONSANALYSE SIGNIFIKANT ( $P < 0,0001$ ). .....58
- ABBILDUNG 14: REINTONAUDIOMETRIE DES ERTAUBTEN (SSD) OHRES IN GRUPPE A UND GRUPPE B (DB HÖRVERLUST). DIE MESSWERTE DER LETZTEN PRÄOPERATIVEN MESSUNG WURDEN IN BOX-WHISKER-PLOTS DARGESTELLT. AUSREIßER WURDEN ALS PUNKTE ABGEBILDET, DER MEDIAN DURCH DEN HORIZONTALEN STRICH IM BOX-PLOT. DIE EINZELNEN FREQUENZEN WURDEN IN GRAUSTUFEN KODIERT. WENN KEIN WERT MESSBAR WAR, DANN WURDE DIE MAXIMALE KAPAZITÄT DES AUDIOMETERS ANGEGEBEN (80 DB BEI 0,125 KHZ; 100 DB BEI 0,25 UND 8 KHZ UND 130 DB BEI DEN RESTLICHEN FREQUENZEN). DER PTA (PURE TONE AVERAGE, MITTELWERT DER FREQUENZEN 0,5; 1; 2 UND 4 KHZ) WURDE IM SCHWARZ GESTREIFTEN BOXPLOT DARGESTELLT. DER MEDIANE PTA VON GRUPPE A LAG BEI 98,75 DB, DER VON GRUPPE B BEI 117,5 DB. DER UNTERSCHIED DER PTAS VON GRUPPE A UND B WAR IM MANN-WHITNEY U-TEST (NORMAL-APPROXIMATION) SIGNIFIKANT ( $P = 0,0042$ ). .....59
- ABBILDUNG 15: FREIBURGER SPRACHTEST (EINSILBER, 65 DB (HELLGRAU) UND 80 DB (DUNKELGRAU)) IN GRUPPE A UND GRUPPE B. DER VERLAUF ÜBER DIE ERSTEN 24 MONATE NACH ERSTANPASSUNG WURDE ABGEBILDET. DIE ANZAHL KORREKTER ANTWORTEN IN PROZENT WURDE IN BOX-WHISKER-PLOTS DARGESTELLT. DIE MESSZEITPUNKTE WAREN PRÄEAP (VOR ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS) UND 3, 6, 12 UND 24 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS. DAS MEDIANE SPRACHVERSTÄNDNIS IN RUHE DER GRUPPE A LAG IN ALLEN MESSUNGEN MIT COCHLEA IMPLANTAT ÜBER DEM MEDIANEN SPRACHVERSTÄNDNIS IN GRUPPE B. IM WILCOXON-VORZEICHENRANGTEST WAR DIE VERBESSERUNG DURCH DIE CI-VERSORGUNG IN BEIDEN GRUPPEN ZU JEDEM ZEITPUNKT SIGNIFIKANT. ....62

- ABBILDUNG 16: REGRESSION ZWISCHEN FREIBURGER SPRACHTEST (EINSILBER) UND ERTAUBUNGSDAUER. DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG GELEGENE FREIBURGER EINSILBER WERT BEI 65 DB SPRACHLAUTSTÄRKE IST GEGEN DIE ERTAUBUNGSDAUER DER PATIENTEN AUFGETRAGEN. DIE SENKRECHTE LINIE, DIE DIE X-ACHSE BEIM WERT 15 SCHNEIDET, TEILT GRUPPE A (LINKS) UND GRUPPE B (RECHTS). LINKS OBEN IN DER GRAFIK FINDEN SICH DIE GLEICHUNG DER REGRESSIONSGERADEN UND DER DETERMINATIONSKOEFFIZIENT  $R^2$ ..... 68
- ABBILDUNG 17: REGRESSION ZWISCHEN FREIBURGER SPRACHTEST (EINSILBER, 65 DB) UND ALTER DER PATIENTEN BEI OP. DER AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG GELEGENE FREIBURGER EINSILBER WERT BEI 65 DB SPRACHLAUTSTÄRKE WURDE GEGEN DAS ALTER DER PATIENTEN AUFGETRAGEN. GRUPPE A (ROT) UND GRUPPE B (BLAU) WURDEN FARBLICH GETRENNT DARGESTELLT. OBEN LINKS IM DIAGRAMM FINDEN SICH DIE FORMEL DER REGRESSIONSGERADEN UND DER DETERMINATIONSKOEFFIZIENT DER BEIDEN GERADEN. .... 69
- ABBILDUNG 18: OLDENBURGER SATZTEST UNTERTEILT NACH SPRACHVERSTÄNDNIS IN RUHE. ANGEGEBEN WURDE JEWEILS DER MESSWERT (SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS IN DB), DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG ERHOBEN WURDEN, IN DEN MESSBEDINGUNGEN  $S_0N_0$  UND  $S_0N_{NH}$ . PATIENTEN DIE NACH 12 MONATEN BEI EINSILBERN MIT 65 DB EIN FREIES SPRACHVERSTÄNDNIS ERREICHTEN ( $FR_{12M} > 0$ , BLAUE PUNKTE) WURDEN DEN PATIENTEN OHNE FREIES SPRACHVERSTÄNDNIS GEGENÜBERGESTELLT ( $FR_{12M} = 0$ , ROTE PUNKTE). DIE PATIENTEN OHNE FREIES SPRACHVERSTÄNDNIS ERREICHTEN IM OLSA IN BEIDEN MESSBEDINGUNGEN IM MEDIAN SCHLECHTERE ERGEBNISSE. .... 72
- ABBILDUNG 19: VERLAUF DER 50-PROZENTIGEN SPRACHVERSTÄNDNISSCHWELLE IN RUHE IN DB IM OLDENBURGER SATZTEST ( $S_0$ ) IN GRUPPE A UND GRUPPE B. DIE MESSZEITPUNKTE WAREN PRÄEAP (VOR ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS) UND 3, 6, 12 UND 24 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS. ALLE MESSUNGEN NACH DER ERSTANPASSUNG MIT COCHLEA-IMPLANTAT AUF DER ERTAUBTEN SEITE. DIE ERGEBNISSE WURDEN IN BOX-WHISKER-PLOTS DARGESTELLT. ZUSÄTZLICH WURDEN DIE EINZELNEN MESSWERTE ALS PUNKTE ABGEBILDET. .... 75
- ABBILDUNG 20: VERLAUF DER 50-PROZENTIGEN SPRACHVERSTÄNDNISSCHWELLE IM STÖRGERÄUSCH MIT SPRACHE UND STÖRGERÄUSCH VON VORNE ( $S_0N_0$ ) IM OLDENBURGER SATZTEST IN GRUPPE A UND GRUPPE B. ANGEGEBEN WURDE DAS SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS (SRV) IN DB. DIE MESSZEITPUNKTE WAREN PRÄEAP (VOR ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS) UND 3, 6, 12 UND 24 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS. DIE ERGEBNISSE WURDEN IN BOX-WHISKER-PLOTS DARGESTELLT. ZUSÄTZLICH WURDEN DIE EINZELNEN MESSWERTE ALS PUNKTE ABGEBILDET. DER WERT EINES PATIENTEN AUS GRUPPE A LAG NACH 24 MONATEN BEI 1,5 DB SRV UND IST AUS GRÜNDEN DER ÜBERSICHTLICHKEIT AUSGEBLENDET..... 76
- ABBILDUNG 21: VERLAUF DER 50-PROZENTIGEN SPRACHVERSTÄNDNISSCHWELLE IM STÖRGERÄUSCH MIT SPRACHE VON VORNE UND STÖRGERÄUSCH VON DER ERTAUBTEN SEITE ( $S_0N_{SSD}$ ) IM OLDENBURGER SATZTEST IN GRUPPE A UND GRUPPE B. ANGEGEBEN IST DAS SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS IN DB. DIE MESSZEITPUNKTE SIND PRÄEAP (VOR ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS) UND 3, 6, 12 UND 24 MONATE NACH DER

ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS. DIE ERGEBNISSE WURDEN IN BOX-WHISKER-PLOTS DARGESTELLT. ZUSÄTZLICH WURDEN DIE EINZELNEN MESSWERTE ALS PUNKTE ABGEBILDET. ZWEI AUSREIßER IN GRUPPE A WURDEN AUS GRÜNDEN DER ÜBERSICHTLICHKEIT NICHT DARGESTELLT (-23 DB SRV NACH 12 MONATEN, 2 DB SRV NACH 24 MONATEN).....	78
ABBILDUNG 22: VERLAUF DER 50-PROZENTIGEN SPRACHVERSTÄNDNISSCHWELLE IM STÖRGERÄUSCH MIT SPRACHE VON VORNE UND STÖRGERÄUSCH VON DER NORMALHÖRIGEN SEITE ( $S_0N_{NH}$ ) IM OLDENBURGER SATZTEST IN GRUPPE A UND GRUPPE B. ANGEGEBEN WURDE DAS SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS IN DB. DIE MESSZEITPUNKTE WAREN PRÄEAP (VOR ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS) UND 3, 6, 12 UND 24 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS. DIE ERGEBNISSE WURDEN IN BOX-WHISKER-PLOTS DARGESTELLT. ZUSÄTZLICH WURDEN DIE EINZELNEN MESSWERTE ALS PUNKTE ABGEBILDET. AUS GRÜNDEN DER ÜBERSICHTLICHKEIT WURDE EIN WERT AUSGEBLENDET (GRUPPE A , 24 MONATE, 7 DB SRV) .....	80
ABBILDUNG 23: ZUSAMMENHANG VON SPRACHVERSTÄNDNIS IN RUHE UND SPRACHVERSTÄNDNIS IM STÖRGERÄUSCH IN $S_0N_{NH}$ . DIE ERGEBNISSE IM OLDENBURGER SATZTEST IN DER BEDINGUNG $S_0N_{NH}$ (SPRACHE VON VORNE UND STÖRGERÄUSCH VON DER NORMALHÖRIGEN SEITE, ANGABEN IN DB SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS) WURDEN GEGEN DAS ERGEBNIS IM FREIBURGER SPRACHTEST (EINSILBER 65 DB, ANGABEN IN PROZENT RICHTIGE ANTWORTEN) AUFGETRAGEN. AUSGEWÄHLT WURDE JEWEILS DER WERT, DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH ERSTANPASSUNG LAG. DIE GLEICHUNG DER KORRELATIONSGERADEN UND DAS $R^2$ SIND LINKS OBEN ABGEBILDET. ....	89
ABBILDUNG 24: ZUSAMMENHANG VON SPRACHVERSTÄNDNIS IM STÖRGERÄUSCH ( $S_0N_0$ ), REINTONAUDIOMETRIE DES NORMALHÖRIGEN OHRS UND ALTER BEI OP. VERWENDET WURDE DER PTA (PURE-TONE AVERAGE, MITTELWERT DER FREQUENZEN 0,5; 1; 2 UND 4 KHZ DER LETZTEN PRÄOPERATIVEN REINTONAUDIOMETRIE (DB HÖRVERLUST)) UND DER $S_0N_0$ WERT (DB SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS (SNR)), DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG LAG. DIE WERTE WURDEN IN EINEM 3D-DIAGRAMM ABGEBILDET. GUTE ERGEBNISSE IN $S_0N_0$ WAREN MIT EINER NIEDRIGEN PTA UND EINEM NIEDRIGEN ALTER ASSOZIIERT.....	91
ABBILDUNG 25: ERGEBNISSE DES OLDENBURGER SATZTESTS IN DEN MESSBEDINGUNGEN $S_0N_0$ , $S_0N_{SSD}$ UND $S_0N_{NH}$ OHNE HÖRGERÄT, MIT CONTRALATERAL ROUTING OF THE SIGNALS (CROS) UND COCHLEA-IMPLANTAT (CI). VON 27 PATIENTEN AUS GRUPPE A UND B LAGEN MESSERGEBNISSE IN ALLEN DREI BEDINGUNGEN VOR. ALS MESSWERT MIT COCHLEA-IMPLANTAT WURDE DER WERT GEWÄHLT, DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH ERSTANPASSUNG LAG. DIE ERGEBNISSE SIND IN BOX-WHISKER-PLOTS DARGESTELLT. ....	92
ABBILDUNG 26: ERGEBNISSE DES OLDENBURGER SATZTESTS IN DEN MESSBEDINGUNGEN $S_0N_0$ , $S_0N_{SSD}$ UND $S_0N_{NH}$ OHNE HÖRGERÄT, MIT KNOCHENLEITUNGSHÖRGERÄT UND COCHLEA IMPLANTAT (CI). VON 8 PATIENTEN AUS GRUPPE A UND B LAGEN MESSERGEBNISSE IN DER BEDINGUNG $S_0N_0$ VOR, IN $S_0N_{HH}$ UND $S_0N_{SSD}$ LAGEN MESSWERTE VON 7 PATIENTEN VOR. ALS MESSWERT MIT COCHLEA-IMPLANTAT WURDE DER WERT GEWÄHLT, DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH ERSTANPASSUNG LAG. ....	95

- ABBILDUNG 27: VERLAUF DES ABSOLUTWERTES DER ALLGEMEINEN DEPRESSIONSSKALA. ANGEGEBEN WURDE DER ABSOLUTWERT DER DEPRESSIONSSKALA VOR ERSTANPASSUNG (PRÄEAP) SOWIE 3, 6, 12 UND 24 MONATE NACH ERSTANPASSUNG. DIE DATEN WURDEN IN BOX-WHISKER-PLOTS ANGEGEBEN, WOBEI DIE EINZELNEN MESSWERTE ZUSÄTZLICH ALS PUNKTE DARGESTELLT WURDEN. ES FAND SICH IM VERLAUF NACH DER ERSTANPASSUNG KEINE VERÄNDERUNG DES ABSOLUTWERTES DER ADS. ....97
- ABBILDUNG 28: VERLAUF DER ERGEBNISSE DES NIJMEGEN COCHLEAR IMPLANT QUESTIONNAIRE (NCIQ). DARGESTELLT WURDEN DIE UNTERKATEGORIEN GRUNDLEGENDE SCHALLWAHRNEHMUNG (SPB), ERWEITERTE SCHALLWAHRNEHMUNG (SPA), SPRACHPRODUKTION (SP), SELBSTEINSCHÄTZUNG (SE), AKTIVITÄT (AL) UND SOZIALE INTERAKTION (SI) IN PROZENT. DIE MESSZEITPUNKTE WAREN PRÄEAP (VOR DER ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS) UND 3, 6, 12 UND 24 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS. DIE ERGEBNISSE WURDEN IN BOX-WHISKER-PLOTS DARGESTELLT. IN ALLEN UNTERKATEGORIEN LAG DER MEDIANE WERT NACH ERSTANPASSUNG ZU JEDEM ZEITPUNKT ÜBER DEM MEDIANEN WERT IM UNVERSORGTEN ZUSTAND (PRÄEAP). ....99
- ABBILDUNG 29: ABHÄNGIGKEIT DER SUMME ALLER NCIQ UNTERKATEGORIEN VOM SPRACHVERSTÄNDNIS IM STÖRGERÄUSCH. DIE ERGEBNISSE DES NCIQ, DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH ERSTANPASSUNG AUSGEFÜLLT WURDE, WURDEN AUSGEWÄHLT UND GEGEN DIE ERGEBNISSE DES OLDENBURGER SATZTESTS IN DEN MESSBEDINGUNGEN  $S_0N_0$  (BLAU) UND  $S_0N_{NH}$  (ROT) IN DB SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS IN EINER REGRESSIONSANALYSE UNTERSUCHT. DIE FORMEL DER EINGEBLENDETEN REGRESSIONSGERADEN UND DER DETERMINATIONSKOEFFIZIENT  $R^2$  FINDEN SICH OBEN LINKS IM DIAGRAMM. ES FAND SICH KEINE SIGNIFIKANTE REGRESSION ZWISCHEN HÖRGERGEBNIS IM STÖRGERÄUSCH UND GESAMTSUMME ALLER NCIQ UNTERKATEGORIEN. ....105
- ABBILDUNG 30: KORRELATION DER SUMME ALLER NCIQ UNTERKATEGORIEN MIT DEM ABSOLUTWERT DER ADS. DIE ERGEBNISSE DES FRAGEBOGENS, DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH ERSTANPASSUNG AUSGEFÜLLT WURDE, WURDEN ABGEBILDET. ES WURDE DIE SUMME ALLER UNTERKATEGORIEN DES NIJMEGEN COCHLEAR IMPLANT QUESTIONNAIRE (NCIQ) GEBILDET UND MIT DEM ABSOLUTWERT DER ALLGEMEINEN DEPRESSIONSSKALA KORRELIERT. ES FAND SICH EINE KORRELATION ZWISCHEN SUMME DER NCIQ UNTERKATEGORIEN UND ADS ABSOLUTWERT (SPEARMAN'S  $P = -0,709$ ). HOHE WERTE IN DER ADS WAREN MIT SCHLECHTEN ERGEBNISSEN IM NCIQ ASSOZIIERT. ....107
- ABBILDUNG 31: VERLAUF DER ERGEBNISSE DES DIZZINESS HANDICAP INVENTORY. ANGEGEBEN WURDE DER GESAMTWERT (SUMME DER ABSOLUTWERTE DER UNTERKATEGORIEN PHYSISCHE BEEINTRÄCHTIGUNG, EMOTIONALE BETROFFENHEIT UND FUNKTIONSTÖRUNG, MAXIMALWERT 100) VOR DER ERSTANPASSUNG (PRÄEAP) UND 3, 6, 12 UND 24 MONATE NACH ERSTANPASSUNG. IM DIAGRAMM FINDEN SICH DIE MESSWERTE ALS PUNKTE, DIE DURCH EIN BOX-WHISKER-PLOT ÜBERLAGERT WERDEN. DER MEDIAN DES GESAMTWERTS LAG ZU JEDEM ZEITPUNKT NACH DER ERSTANPASSUNG UNTER DEM WERT VOR DER ERSTANPASSUNG UND BLIEB IM VERLAUF KONSTANT. ....109
- ABBILDUNG 32: ERGEBNISSE DES TINNITUSFRAGEBOGENS NACH GOEBEL UND HILLER. DARGESTELLT WURDEN DIE PRÄOPERATIV (VOR ERSTANPASSUNG,

HELLGRAU) ERHOBENEN WERTE UND DIE WERTE DES FRAGEBOGENS, DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG (DUNKELGRAU) AUSGEFÜLLT WURDEN. ANGEGEBEN IST DER PROZENTUALE ANTEIL DES ERHOBENEN WERTES AM MAXIMAL ERREICHBAREN WERT DER EINZELNEN UNTERKATEGORIEN UND DES GESAMTWERTES. DIE UNTERSCHIEDE ZWISCHEN BEIDEN MESSZEITPUKTEN WAREN GERING UND STATISTISCH NICHT SIGNIFIKANT (WILCOXON-VORZEICHENRANGTEST).....111

ABBILDUNG 33: KORRELATION ZWISCHEN TINNITUS-FRAGEBOGEN NACH GOEBEL UND HILLER UND ALLGEMEINER DEPPRESSIONSSKALA. DER GESAMTSORE DES TINNITUSFRAGEBOGENS NACH GOEBEL UND HILLER WURDE GEGEN DEN ABSOLUTWERT DER ALLGEMEINEN DEPPRESSIONSSKALA AUFGETRAGEN. AUSGEWÄHLT WURDE JEWEILS DER MESSWERT, DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH ERSTANPASSUNG ERHOBEN WURDE. DER NACH SPEARMAN BERECHNETE KORRELTIIONSKOEFFIZIENT LAG BEI 0,580.....113

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: AUSSCHLUSSKRITERIEN UND EINTEILUNG IN GRUPPE A, B UND C. IN DER VORLIEGENDEN TABELLE SIND 3 AUSSCHLUSSKRITERIEN ANGEZEIGT, DURCH DIE PATIENTEN VON DER ALLGEMEINEN BETRACHTUNG AUSGESCHLOSSEN WERDEN. ALS ORIENTIERUNG DIENT DER INTERNATIONALE KONSSENS ÜBER STUDIEN DER COCHLEA IMPLANTAT VERSORGUNG BEI SSD. DIE GEBILDETEN GRUPPEN WURDEN IN 2.3.2 BESCHRIEBEN. ....	31
TABELLE 2: ERTAUBUNGSURSACHE UND BEGRÜNDUNG DES EINSCHLUSSES IN GRUPPE C (TEIL I). DEN PATIENTEN IST EINE PATIENTENNUMMER (PAT.-NR.) ZUGEWIESEN. DIE ERSTE NUMMER KODIERT DEN EINSCHLUSSGRUND IN GRUPPE C, DIE 2. DEN PATIENTEN IN DIESER GRUPPE. GESCHLECHT (G.) MÄNNLICH (M) ODER WEIBLICH (W) UND ERTAUBUNGSSEITE (SEITE) RECHTS (RE) ODER LINKS (LI) SIND ANGEZEIGT. DIE ERTAUBUNGSURSACHE IST WIE IN GRUPPE A UND B GEGLIEDERT. ....	33
TABELLE 3: ERTAUBUNGSURSACHE UND BEGRÜNDUNG DES EINSCHLUSSES IN GRUPPE C (TEIL II). DEN PATIENTEN IST EINE PATIENTENNUMMER (PAT.-NR.) ZUGEWIESEN. DIE ERSTE NUMMER KODIERT DEN EINSCHLUSSGRUND IN GRUPPE C, DIE 2. DEN PATIENTEN IN DIESER GRUPPE. GESCHLECHT (G.) MÄNNLICH (M) ODER WEIBLICH (W) UND ERTAUBUNGSSEITE (SEITE) RECHTS (RE) ODER LINKS (LI) SIND ANGEZEIGT. DIE ERTAUBUNGSURSACHE IST WIE IN GRUPPE A UND B GEGLIEDERT. ....	34
TABELLE 4: AUDIOMETER, KOPFHÖRER UND LAUTSPRECHER DER AUDIOMETRIE .....	36
TABELLE 5: BEISPIELSÄTZE AUS DEM OLDENBURGER SATZTEST .....	39
TABELLE 6: AUFBAU DER MESSBEDINGUNGEN IM OLDENBURGER SATZTEST .....	40
TABELLE 7: UNTERKATEGORIEN DES NIJMEGEN COCHLEAR IMPLANTATION QUESTIONNAIRE (NCIQ). DIE TABELLE BESCHREIBT DEN INHALT DER EINZELNEN KATEGORIEN UND UNTERKATEGORIEN DES NCIQ. ....	44
TABELLE 8: BEISPIELFRAGE UND AUSWERTUNG DES NIJMEGEN COCHLEAR IMPLANTATION QUESTIONNAIRE .....	45
TABELLE 9: BEISPIELFRAGE UND AUSWERTUNG DER ALLGEMEINEN DEPRESSIONSSKALA. ....	46
TABELLE 10: BEISPIELFRAGE UND AUSWERTUNG DES DIZZINESS HANDICAP INVENTORY .....	46
TABELLE 11: BEISPIELFRAGE UND AUSWERTUNG DES TINNITUS FRAGEBOGENS NACH GOEBEL UND HILLER. ....	47
TABELLE 12: KATEGORIEN DES TINNITUS FRAGEBOGENS NACH GOEBEL UND HILLER. DARGESTELLT WERDEN DIE KATEGORIEN, DIE ANZAHL AN FRAGEN PRO KATEGORIE UND DER MAXIMAL ERREICHBARE SCORE PRO KATEGORIE. ....	47
TABELLE 13: BESCHREIBUNG DER GRUPPE A (ERFÜLLTE DIE KRITERIEN DES INTERNATIONALEN KONSSENS) UND GRUPPE B (ERFÜLLTE DAS KRITERIUM ERTAUBUNGSDAUER >15 JAHRE NICHT). MEDIAN, MINIMALER (MIN) UND MAXIMALER (MAX) WERT WURDE ANGEZEIGT, DA DIE WERTE NICHT NORMALVERTEILT WAREN. IN ABB. 8-11 WURDEN ALTER BEI OP, ALTER BEI ERTAUBUNG UND ERTAUBUNGSDAUER GRAFISCH DARGESTELLT. DIE WERTE UNTERSCHIEDEN SICH IN BEIDEN GRUPPEN UNTER ANDEREM AUFGRUND DER AUSSCHLUSSKRITERIEN. DER PTA (PURE TONE AVERAGE, MITTELWERT DER	

FREQUENZEN 0,5; 1; 2 UND 4 KHZ) DES NORMALHÖRIGEN (NH) UND ERTAUBTEN (SSD) OHRES WURDE IN ABB. 12 UND 14 GENAUER DARGESTELLT. ....	50
TABELLE 14: BESCHREIBUNG DER GRUPPE C. DARGESTELLT WURDEN PATIENTENNUMMER (PAT.-NR.), GESCHLECHT (G.), ERTAUBUNGSSEITE (S.), ERTAUBUNGSURSACHE, ALTER BEI OPERATION IN JAHREN, ERTAUBUNGSDAUER IN JAHREN, MONATE NACH OPERATION (POST OP), PTA (PURE TONE AVERAGE, MITTELWERT DER FREQUENZEN 0,5; 1; 2 UND 4 KHZ) DES NORMALHÖRIGEN (NH) UND DES ERTAUBTEN (SSD) OHRS IN DB HÖRVERLUST (DB HV) UND DER HERSTELLER DES COCHLEA-IMPLANTATS (CI). VON PATIENT 6-1 LAGEN KEINE PRÄOPERATIVEN HÖRTEST VOR (NICHT VORLIEGEND (NV), EXTERN IMPLANTIERT). ....	55
TABELLE 15: FREIBURGER SPRACHTEST (EINSILBER, 65 DB UND 80) IN GRUPPE C. IN SPALTE 1 FINDET SICH DIE PATIENTENNUMMER (PAT.-NR.) DER EINZELNEN PATIENTEN. DER VERLAUF ÜBER DIE ERSTEN 24 MONATE NACH ERSTANPASSUNG WURDE ABGEBILDET. DIE MESSZEITPUNKTE SIND PRÄEAP (VOR ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS) SOWIE 3, 6, 12 UND 24 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG DES SPRACHPROZESSORS. ANGEGBEN WURDE DAS SPRACHVERSTÄNDNIS IN PROZENT, LEERE ZELLEN STEHEN FÜR FEHLENDE MESSWERTE. ....	64
TABELLE 16: FREIBURGER SPRACHTEST (EINSILBER, 65 DB) NACH ERTAUBUNGSURSACHE AUFGETEILT. AUSGEWÄHLT WURDE DER NÄCHSTGELEGENE WERT (PROZENT) AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH ERSTANPASSUNG DER EINZELNEN PATIENTEN. IN DER TABELLE WURDEN DIE WERTE NACH GRUPPE UND ERTAUBUNGSURSACHE UNTERGLIEDERT. ES WURDE DIE ANZAHL AN WERTEN (N), DER MEDIAN SOWIE DER MINIMALE UND DER MAXIMALE WERT PRO ERTAUBUNGSURSACHE ANGEGBEN. LAG DIE ANZAHL BEI 2, WURDEN DIE BEIDEN WERTE ALS MINIMUM UND MAXIMUM ANGEGBEN, BEI N = 1 WURDE DER WERT IN DER SPALTE MEDIAN ANGEGBEN. IN DER LETZTEN ZEILE FINDET SICH EIN ÜBERBLICK ÜBER DIE WERTE DES GESAMTKOLLEKTIVS (GESAMT). ....	66
TABELLE 17: FREIBURGER SPRACHTEST DER MÖGLICHERWEISE KONGENITAL ERTAUBTEN PATIENTEN. VON DEN 9 MÖGLICHERWEISE KONGENITAL ERTAUBTEN PATIENTEN WURDE JEWEILS DER BESTE WERT IM FREIBURGER SPRACHTEST MIT EINSILBERN UND MEHR SILBERN BEI 65 DB UND 80 DB AUSGEWÄHLT. DIE MESSZEITPUNKTE LAGEN ZWISCHEN 3 UND 48 MONATEN NACH ERSTANPASSUNG. 2 DER 9 PATIENTEN ERREICHTEN KEINERLEI SPRACHVERSTÄNDNIS. BEI EINSILBERN MIT 65 DB (VERGLEICHSWERT IN ANDERE GRAFIKEN) ERREICHTEN NUR 2 DER 9 PATIENTEN EIN SPRACHVERSTÄNDNIS IN RUHE. ....	70
TABELLE 18: VERGLEICH DER ERGEBNISSE IM OLDENBURGER SATZTEST VON GRUPPE A UND GRUPPE B. ANGEGBEN WURDE DER MITTELWERT DES 12 MONATSWERTS (NÄCHSTGELEGEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH ERSTANPASSUNG) IN GRUPPE A UND GRUPPE B IN DB (SPRACHVERSTÄNDNISSCHWELLE, $S_0$ ) UND DB SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS (DB SRV, $S_0N_0$ , $S_0N_{SSD}$ UND $S_0N_{NH}$ ). DER VERGLEICH VON GRUPPE A UND GRUPPE B ERFOLGTE MIT DEM T-TEST (EINFAKTORIELLE ANOVA). IN KEINER MESSBEDINGUNG FAND SICH EIN SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED ZWISCHEN GRUPPE A UND GRUPPE B. ....	81
TABELLE 19: OLDENBURGER SATZTEST GRUPPE C (UNTERGRUPPE 1 UND 2). DIE ERGEBNISSE DES OLDENBURGER SATZTEST ( $S_0$ IN DB SPRACHLAUTSTÄRKE	

<p>SOWIE, <math>S_0N_0</math>, <math>S_0N_{SSD}</math> UND <math>S_0N_{NH}</math> IN DB SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS (DB SRV)) DER UNTERGRUPPEN 1 (OHNE GUTE DEUTSCHKENNTNISSE) UND 2 (FIBROSIERUNG DER COCHLEA) WURDEN DARGESTELLT. VERWENDET WURDEN DIE HÖRHILFEN CONTRALATERAL ROUTING OF SIGNALS (CROS), COCHLEA IMPLANTAT (CI) UND COCHLEA IMPLANTAT MIT HÖRGERÄT DER GEGENSEITE CI+HG). DIE MESSZEITPUNKTE LAGEN VOR ERSTANPASSUNG (PRÄEAP) UND N MONATE NACH ERSTANPASSUNG. ....</p>	82
<p>TABELLE 20: OLDENBURGER SATZTEST GRUPPE C (UNTERGRUPPE 3 UND 4). DIE ERGEBNISSE DES OLDENBURGER SATZTEST (<math>S_0</math> IN DB SPRACHLAUTSTÄRKE SOWIE, <math>S_0N_0</math>, <math>S_0N_{SSD}</math> UND <math>S_0N_{NH}</math> IN DB SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS (DB SRV)) DER UNTERGRUPPEN 3 (INTRACOCHELÄRES SCHWANNOM) UND 4 (ERTAUBUNG NACH RESEKTION EINES VESTIBULARISSCHWANNOMS) WURDEN DARGESTELLT. VERWENDET WURDEN DIE HÖRHILFEN CONTRALATERAL ROUTING OF SIGNALS (CROS), KNOCHENLEITUNGSHÖRGERÄT (KL-HG), HÖRGERÄT UND COCHLEA IMPLANTAT (CI). DIE MESSZEITPUNKTE LAGEN VOR ERSTANPASSUNG (PRÄEAP) UND N MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG. ....</p>	84
<p>TABELLE 21: OLDENBURGER SATZTEST GRUPPE C (UNTERGRUPPE 5). DIE ERGEBNISSE DES OLDENBURGER SATZTEST (<math>S_0</math> IN DB SPRACHLAUTSTÄRKE SOWIE, <math>S_0N_0</math>, <math>S_0N_{SSD}</math> UND <math>S_0N_{NH}</math> IN DB SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS (DB SRV)) DER UNTERGRUPPEN 5 (PTA (PURE TONE AVERAGE, MITTELWERT DER FREQUENZEN 0,5; 1; 2 UND 4 KHZ) &lt;70 DB HÖRVERLUST AUF DER ERTAUBTEN SEITE) WURDEN DARGESTELLT. VERWENDET WURDEN DIE HÖRHILFEN CONTRALATERAL ROUTING OF SIGNALS (CROS), COCHLEA IMPLANTAT (CI) UND COCHLEA IMPLANTAT MIT HÖRGERÄT DER GEGENSEITE CI+HG). DIE MESSZEITPUNKTE LAGEN VOR DER ERSTANPASSUNG (PRÄEAP) UND N MONATE NACH ERSTANPASSUNG. ....</p>	85
<p>TABELLE 22: SPRACHVERSTÄNDNIS IM STÖRGERÄUSCH UNTERTEILT NACH ERTAUBUNGSDAUER. AUSGEWÄHLT WURDE DIE MESSUNG DER PATIENTEN AUS GRUPPE A UND B, DIE AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH ERSTANPASSUNG LAG. DIE MESSUNGEN <math>S_0N_0</math> UND <math>S_0N_{NH}</math> WURDEN ANGEGEBEN, DA SICH HIER EINE SIGNIFIKANTE VERBESSERUNG DURCH DIE CI-VERSORGUNG NACHWEISEN LIEß. DIE ANZAHL AN PATIENTEN PRO ERTAUBUNGSDAUER MIT VORLIEGENDEM OLSA, DER MEDIAN, DER MINIMALE (BESTE) UND MAXIMALE (SCHLECHTESTE) WERT DER GRUPPEN NACH ERTAUBUNGURSACHE WURDEN ANGEGEBEN. ALS VERGLEICHSWERT WURDEN DIE WERTE DES GESAMTKOLLEKTIVS BESTIMMT (GESAMT). ....</p>	87
<p>TABELLE 23: NIJMEGEN COCHLEAR IMPLANT QUESTIONNAIRE (NCIQ) VOR DER ERSTANPASSUNG UND 12 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG. DER MEDIAN, DAS MINIMUM UND DAS MAXIMUM DER UNTERKATEGORIEN GRUNDLEGENDE SCHALLWAHRNEHMUNG (SPB), ERWEITERTE SCHALLWAHRNEHMUNG (SPA), SPRACHPRODUKTION (SP), SELBSTEINSCHÄTZUNG (SE), AKTIVITÄT (AL) UND SOZIALE INTERAKTION (SI) IN PROZENT SOWIE DIE SUMME DER UNTERKATEGORIEN WURDEN ANGEGEBEN. ANGEGEBEN WURDEN DIE WERTE VOR DER ERSTANPASSUNG (PRÄEAP) UND DER AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG AM NÄCHSTEN GELEGENE WERT. MIT DEM MANN-WHITNEY U-TEST (NORMAL APROXIMATION) WURDEN DIE IN DER RECHTEN SPALTE DARGESTELLTEN SIGNIFIKANZEN BERECHNET. IN DER UNTERKATEGORIEN AKTIVITÄT SOWIE IN DER GESAMTSUMME DES NCIQ FAND SICH EIN P-WERT VON &lt;0,05. ....</p>	101

TABELLE 24: VERLAUF DER ERGEBNISSE DES NIJMEGEN COCHLEAR IMPLANT QUESTIONNAIRE (NCIQ) IN GRUPPE C. DARGESTELLT WURDEN DIE UNTERKATEGORIEN GRUNDLEGENDE SCHALLWAHRNEHMUNG (SPB), ERWEITERTE SCHALLWAHRNEHMUNG (SPA), SPRACHPRODUKTION (SP), SELBSTEINSCHÄTZUNG (SE), AKTIVITÄT (AL) UND SOZIALE INTERAKTION (SI) IN PROZENT. ZUSÄTZLICH WURDE DIE SUMME ALLER UNTERKATEGORIEN (SUMME NCIQ), DER MESSZEITPUNKT (VOR ERSTANPASSUNG (PRÄEAP) UND N MONATE NACH ERSTANPASSUNG) UND DER ZUGEHÖRIGE ABSOLUTWERT DER ALLGEMEINEN DEPRESSIONSSAKAL (ADS) ANGEGEBEN. UNTERGRUPPE 1 (KEINE AUSREICHENDEN DEUTSCHKENNTNISSE) WURDE NICHT ANGEGEBEN. ....	103
TABELLE 25: KORRELATION DER UNTERKATEGORIEN DES NCIQS MIT DEM ABSOLUTWERT DER ADS. VON DEN PATIENTEN AUS GRUPPE A UND GRUPPE B WURDE DIE ALLGEMEINE DEPRESSIOSSKALA (ADS) UND DER NIJMEGEN COCHLEAR IMPLANTATION QUESTIONNAIRE (NCIQ) AUSGEWÄHLT, DIE AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH ERSTANPASSUNG LAGEN. DIE MEDIANEN ERGEBNISSE DES NCIQS DER NACH ABSOLUTWERT DER ADS IN UNAUFFÄLLIG (<18) UND AUFFÄLLIG (>17) EINGETEILTEN PATIENTEN WURDEN ANGEGEBEN. DER KORRELATIONSKOEFFIZIENT WURDE BERECHNET. PATIENTEN MIT HOHEN WERTEN IN DER ADS ERZIELEN NIEDRIGERE SCORES IN DEN UNTERKATEGORIEN DES NCIQS. ....	108
TABELLE 26: BESCHREIBUNG DER KINDER. DARGESTELLT WURDEN KINDERNUMMER (KI.-NR.), GESCHLECHT (G.), ERTAUBUNGSSEITE (S.), ERTAUBUNGSURSACHE, ALTER BEI OP IN JAHREN, ERTAUBUNGSDAUER (ED) IN JAHREN, MONATE (M.) NACH ERSTANPASSUNG (EAP), PTA (PURE-TONE AVERAGE, MITTELWERT DER FREQUENZEN 0,5; 1; 2 UND 4 KHZ) DES NORMALHÖRIGEN (NH) UND DES ERTAUBTEN (SSD) OHRS IN DB HÖRVERLUST (DB HV) UND DER HERSTELLER DES COCHLEA-IMPLANTATS (CI). ....	116
TABELLE 27: REINTONAUDIOMETRIE DER LETZTE PRÄOPERATIVE REINTONAUDIOMETRIE DES NORMALHÖRIGEN OHRS DER BESCHRIEBENEN KINDER (KINDERNUMMER, KI.-NR.) DIE ANGABE ERFOLGTE IN KILOHERTZ. ....	118
TABELLE 28: REINTONAUDIOMETRIE DER ERTAUBTEN SEITE (KINDER). DIE LETZTE PRÄOPERATIVE REINTONAUDIOMETRIE DER ERTAUBTEN SEITE DER BESCHRIEBENEN KINDER (KINDERNUMMER, KI.-NR.) WURDE DARGESTELLT. DIE ANGABE ERFOLGTE IN KILOHERTZ. BEI NICHT MESSBARER HÖRSCHWELLE WURDE DIE MAXIMALE KAPAZITÄT DES AUDIOMETERS ANGEGEBEN (VGL. K1). ....	119
TABELLE 29: SPRACHVERSTÄNDNIS IN RUHE DER KINDER. ANGEGEBEN WURDEN AUSSCHLIEßLICH ERGEBNISSE DES FREIBURGER SPRACHTESTS IN DEN MESSBEDINGUNGEN (MB) EINSILBER (E) UND MEHR SILBER (M) BEI 65 UND 80 DB SPRACHLAUTSTÄRKE. ....	120
TABELLE 30: ERGEBNISSE DES OLDENBURGER SATZTESTS ( $S_0$ IN DB SPRACHLAUTSTÄRKE SOWIE, $S_{0N_0}$ , $S_{0N_{SSD}}$ UND $S_{0N_{NH}}$ IN DB SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNIS (DB SRV)) DER KINDER. VERWENDET WURDEN DIE HÖRHILFEN CONTRALATERAL ROUTING OF SIGNALS (CROS), HÖRGERÄT UND COCHLEA-IMPLANTAT (CI). DIE MESSZEITPUNKTE LAGEN VOR DER ERSTANPASSUNG (PRÄEAP) UND N MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG. LEERE ZELLEN STEHEN FÜR FEHLENDE MESSWERTE. ....	124
TABELLE 31: DEMOGRAFISCHE DATEN PUBLIZIERTER STUDIEN IM VERGLEICH ZUR VORLIEGENDEN STUDIE. ANGEGEBEN WURDE DIE ANZAHL AN PATIENTEN, DAS ALTER BEI OP, DIE ERTAUBUNGSDAUER UND DAS ALTER BEI ERTAUBUNG (FALLS VORHANDEN) VON 8 PUBLIZIERTEN STUDIEN IM MEDIAN ODER MITTELWERT	

(MW). FINKE ET AL. UNTERTEILTEN IHRE PATIENTEN IN ZWEI GRUPPEN (G1 MIT ABSOLVIERTEM FRAGEBOGEN, G2 OHNE). ZUM VERGLEICH SIND DIE DATEN DER PATIENTEN DER VORLIEGENDEN STUDIE UNTERTEILT IN GRUPPE A, B UND C SOWIE IM GESAMTKOLLEKTIV DARGESTELLT. ....	129
TABELLE 32: ÜBERSICHT DER OLSA-ERGEBNISSE VON GRUPPE A UND GRUPPE B. DER UNTERSCHIED ZWISCHEN DER MESSUNG VOR DER ERSTANPASSUNG (PRÄEAP) UND DER MESSUNG 12 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG FINDET SICH UNTERTEILT NACH GRUPPE A UND B IN DEN MITTLEREN SPALTEN, RECHTS WURDE DER VERGLEICH ZWISCHEN GRUPPE A UND GRUPPE B NACH 12 MONATEN DARGESTELLT. ANGEGEBEN WURDE JEWEILS DER ERRECHNETE P-WERT (IN $S_0$ WILCOXON-VORZEICHENRANGTEST UND MANN-WHITNEY U-TEST (VERGLEICH A UND B), RESTLICHE WERTE T-TEST). IN DEN MESSBEDINGUNGEN $S_0N_0$ UND $S_0N_{NH}$ LIEß SICH IN GRUPPE A UND GRUPPE B EINE VERBESSERUNG NACHWEISEN. IN KEINER MESSBEDINGUNG UNTERSCHIEDEN SICH DIE ERGEBNISSE VON GRUPPE A UND GRUPPE B SIGNIFIKANT. ....	134
TABELLE 33: VERGLEICH DER SPRACHVERSTÄNDNISSCHWELLEN DER PATIENTEN IN DER VORLIEGENDEN ARBEIT MIT DER STUDIENLAGE. VERWENDET WURDE DER AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG ERHOBENE WERT .....	136
TABELLE 34: VERGLEICH VON GRUPPE A (KURZE BIS MITTLERE ERTAUBUNGSDAUER <15 JAHRE) UND GRUPPE B (ERTAUBUNGSDAUER >15 JAHRE). DER VERGLEICH ERFOLGTE MIT DEM AM NÄCHSTEN AM ZEITPUNKT 12 MONATE NACH DER ERSTANPASSUNG ERHOBENEN MESSWERT. EIN SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED (ZUGUNSTEN VON GRUPPE A) LIEß SICH NUR IM SPRACHVERSTÄNDNIS IN RUHE NACHWEISEN. ....	140

## 1. Einleitung

Das Gehörorgan ist das Sinnesorgan des Menschen, das zur Schallwahrnehmung dient. Die Umwandlung von Schall in eine kognitive Wahrnehmung wird als Hören bezeichnet. Das Hören und Verstehen von Sprache ist die wichtigste Form der Kommunikation zwischen Menschen.

Ein einzelnes Ohr ist in der Lage die Frequenz und die Lautstärke von Schall wahrzunehmen. Das Verstehen von Sprache ist in einfachen Hörsituationen, wie zum Beispiel einem Gespräch zweier Personen in einer ruhigen Hörumgebung, sicher möglich. Ein hörgesunder Mensch verfügt über zwei Ohren, die das sogenannte binaurale Hören ermöglichen. Durch eine zentrale Verarbeitung im Hirnstamm und in der primären Hörrinde kann ein Zielschall (z.B. Sprache) aus einem Schallgemisch extrahiert werden. Wenn Sprache der Zielschall ist, dann wird durch das binaurale Hören ein verbessertes Sprachverständnis im Vergleich zum unilateralen Hören erreicht (Akeroyd, 2006). Dieser Effekt wird, angelehnt an einer typischen komplexen Hörsituation, als „Cocktail-Party-Effekt“ (Cherry, 1953) bezeichnet. Neben dem verbesserten Sprachverständnis im Störgeräusch ermöglicht binaurales Hören die Lokalisation von Schallquellen. Richtungshören entsteht durch die Verarbeitung von Laufzeitunterschieden und Lautheitsunterschieden des binaural wahrgenommenen Schalls (Akeroyd, 2006).

Binaurales Hören ist bei einer einseitigen Ertaubung nicht möglich. Einseitig ertaubte Patienten erzielen bei Untersuchungen des Sprachverständnisses im Störgeräusch (Persson et al., 2001; Welsh et al., 2004) und des Richtungshörens (Bess et al., 1984; Wie et al., 2010) schlechtere Ergebnisse als Kontrollgruppen mit binauralem Hörvermögen. Die Hör- und Lebensqualität ist bei einseitig ertaubten Patienten unter anderem durch die erhöhte Höranstrengung ebenfalls eingeschränkt (Alhanbali et al., 2017; Wie et al., 2010).

Durch eine Cochlea-Implantat-Implantation bei einseitiger Ertaubung kann binaurales Hörvermögen wiedererlangt werden. Erste Hinweise von Van de Heyning et al. (2008) konnten in weiteren Studien bestätigt werden (Arndt et al.,

2011a; Vermeire et al., 2009). Das Sprachverständnis im Störgeräusch (Arndt et al., 2016; Grossmann et al., 2016; Mertens et al., 2017), das Richtungshören (Grossmann et al., 2016; Mertens et al., 2016) und die Lebensqualität (Harkonen et al., 2015; Rosli et al., 2015) werden durch eine Cochlea-Implantat-Versorgung bei einer einseitigen Ertaubung verbessert.

Ziel der vorliegenden Studie war die retrospektive Beschreibung und Analyse der Ergebnisse von 122 einseitig ertaubten Erwachsenen und 11 einseitig ertaubten Kindern, die in der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde in Tübingen bis zum Ende des Jahres 2016 mit einem Cochlea-Implantat versorgt wurden. Im Zentrum der Analyse stand der Einfluss der Cochlea-Implantat-Versorgung auf das Sprachverständnis im Störgeräusch und die Lebensqualität der Patienten. Zusammenhänge zwischen den Hörergebnissen und der Lebensqualität nach der Cochlea-Implantat-Versorgung wurden ebenfalls analysiert.

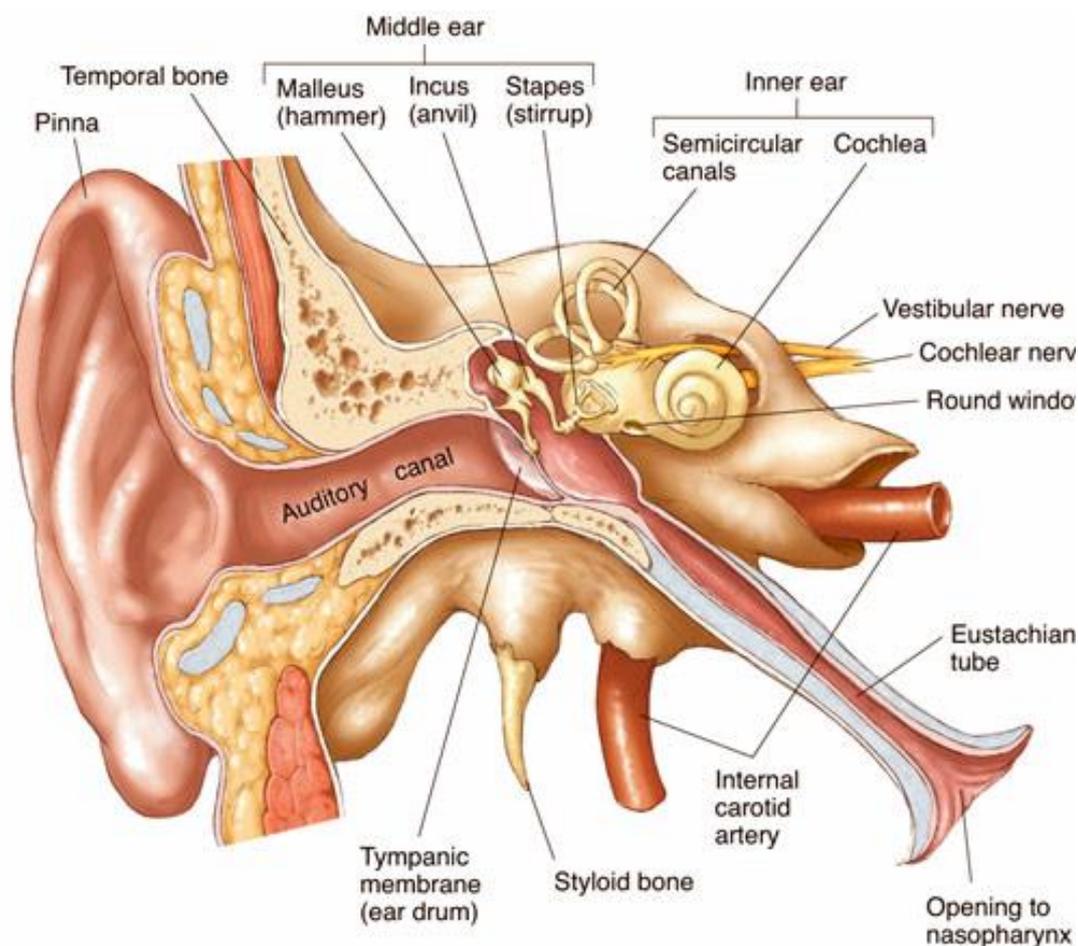
Grundlegend für das Verständnis dieser Arbeit sind die Anatomie und Physiologie des Hörens, die Grundlagen der Cochlea-Implantat-Versorgung und die eingesetzten audiologischen Methoden sowie Fragebögen.

## **1.1 Grundlagen des Hörens**

### **1.1.1 Anatomie des Ohres**

Das Ohr wird in drei Teile unterteilt. Das äußere Ohr besteht aus Ohrmuschel und Gehörgang und endet am Trommelfell. Dort beginnt das Mittelohr, zu dem unter anderem die Gehörknöchelchenkette gehört. An der Fußplatte des Stapes geht das Mittelohr in das Innenohr über, das aus der Cochlea und dem Gleichgewichtsorgan zusammengesetzt ist.

Der Gehörgang endet mit dem Trommelfell. Im Mittelohr verbinden die drei Gehörknöchelchen Hammer (Malleus), Amboss (Incus) und Steigbügel (Stapes) das Trommelfell mit dem ovalen Fenster.

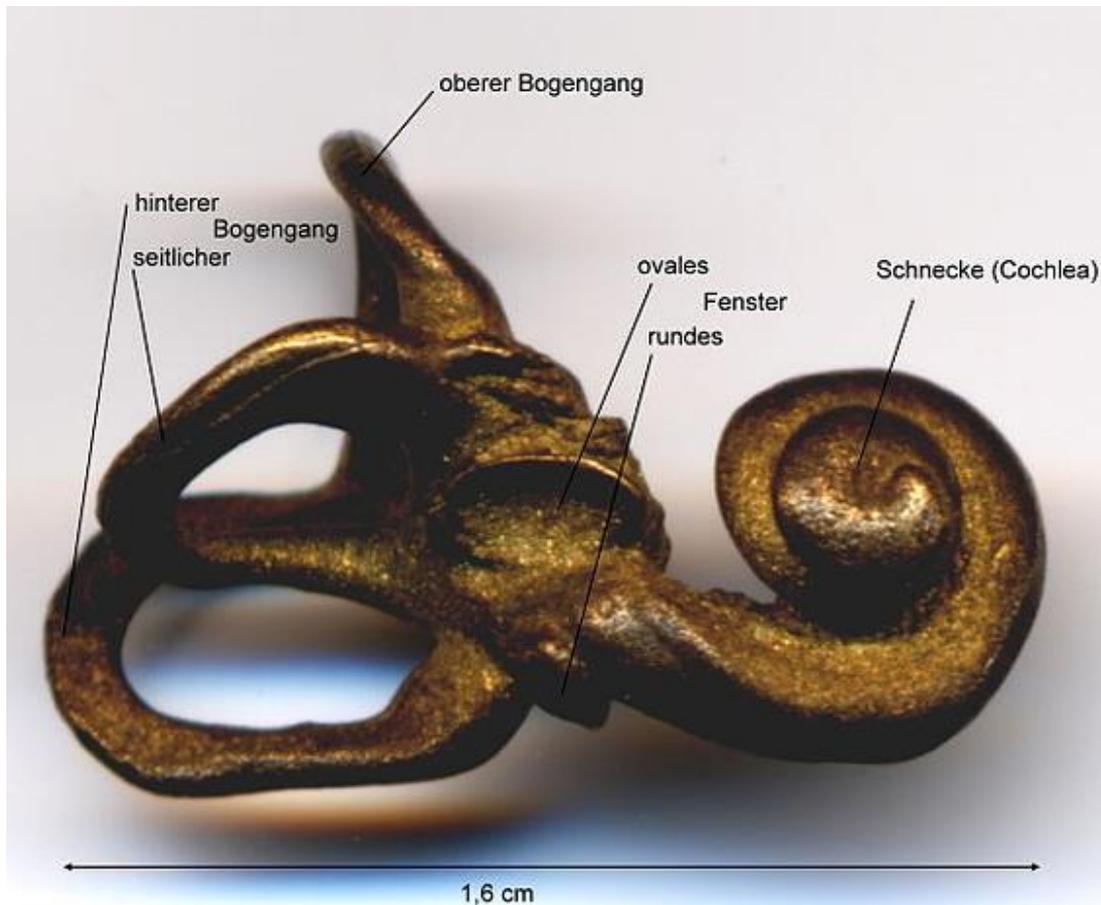


**Abbildung 1:** Anatomie des Ohres. Dargestellt sind das äußere Ohr, das Mittelohr und das Innenohr. Quelle: <http://www.biographixmedia.com/human/ear-anatomy.html>

Kranial wird das Mittelohr durch das Tegmen tympani von der mittleren Schädelgrube getrennt. Kaudal verläuft die Vena jugularis, während die Arteria carotis interna ventral des Mittelohres verläuft. Lateral des Mittelohres liegt das Trommelfell. Dorsal liegt das Mastoid, durch das die posteriore Tympanotomie erfolgt, die als Zugangsweg zur CI-Implantation genutzt wird.

Das Innenohr, insbesondere Promontorium, ovales Fenster und rundes Fenster liegen medial. Es besteht aus der Hörschnecke (Cochlea) und dem Gleichgewichtsorgan (Vestibularorgan), deren Afferenzen über den Nervus vestibulocochlearis in den Hirnstamm gelangen. Das Innenohr liegt im

Felsenbein (Os petrosum), das der härteste Knochen des menschlichen Skeletes ist.



**Abbildung 2:** Ausgusspräparat eines Innenohrs mit Cochlea (rechts) und Bogengängen (links). Quelle: Von Welleschik - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1533174>

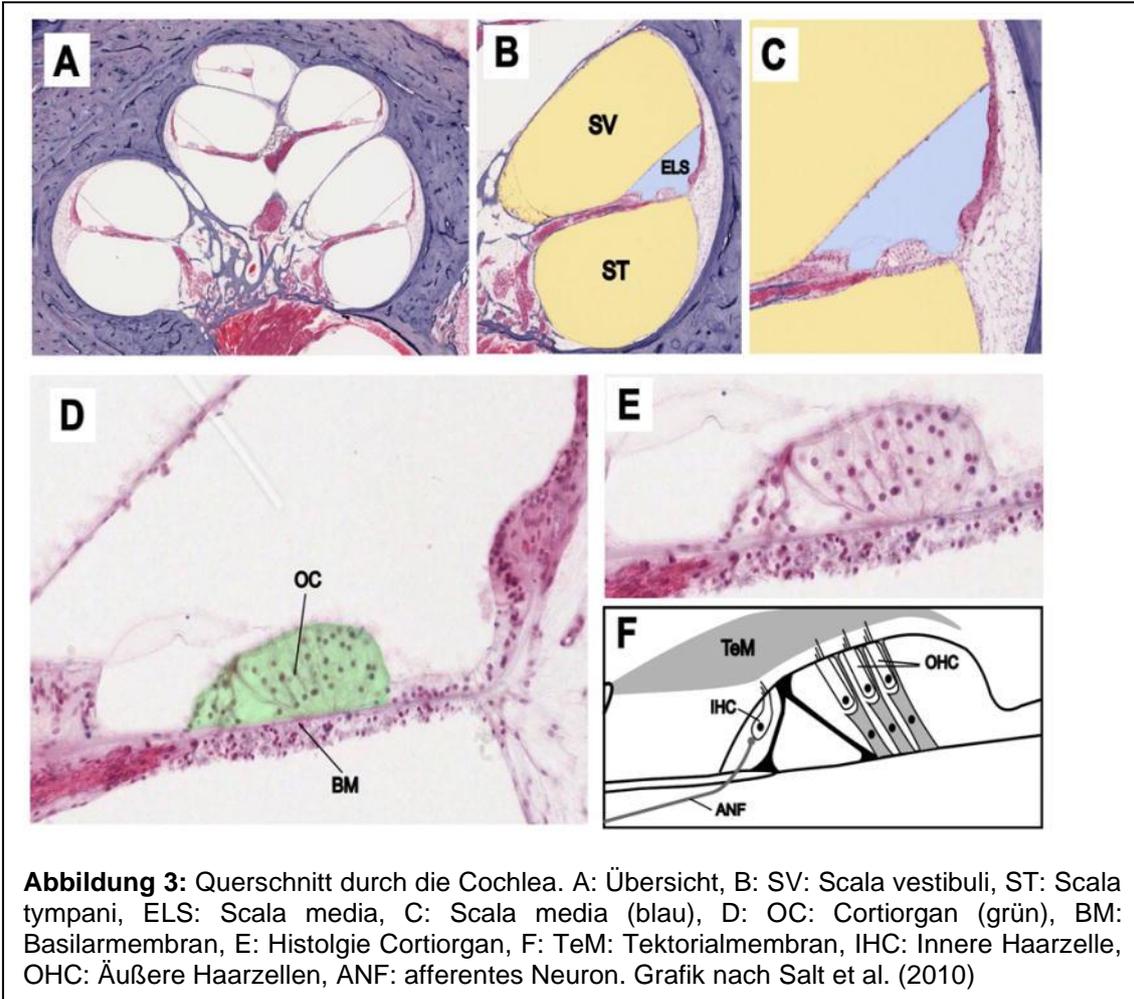
Die Cochlea des Menschen besitzt üblicherweise 2,5 bis  $2\frac{3}{4}$  Windungen, die entrollt eine Länge von 25 – 35,5 mm besitzen (Hardy, 1938). Die Cochlea wird knöchern durch das Felsenbein umgeben. Innerhalb dieser knöchernen Struktur liegt das häutige Labyrinth (Abb. 2). Zentral liegt die Scala media, die durch die Reissner Membran von der Scala vestibuli sowie durch die Basilarmembran von der Scala tympani abgegrenzt ist. Das Corti Organ liegt auf der Basilarmembran und schließt die Haarsinneszellen mit ein. Eine menschliche Cochlea enthält etwa 3.400 innere und 12.000 äußere Haarsinneszellen (Rask-Andersen et al., 2012). Die äußeren Haarsinneszellen stehen mit der Tektorialmembran in

Kontakt, die am zentral gelegenen knöchernen Modiolus verankert ist. Im Modiolus liegen in den unteren  $1\frac{3}{4}$  Windungen die ersten Neurone der Hörbahn. Das Spiralganglion einer Cochlea enthält etwa 35.000 afferente bipolare Neurone (Rask-Andersen et al., 2012). Über mehrere im Hirnstamm liegende Kerne gelangt die Erregung vor allem ins kontralaterale primäre Hörzentrum. Dieses liegt in den Gyri temporales transversi und im Gyrus temporalis superficialis.

### **1.1.2 Physiologie des Hörvorgangs**

Physikalisch wird Schall als Schalldruck durch die Division der Fläche durch die wirkende Kraft ( $p = A/F$ ) berechnet und in Pascal angegeben. Der Schalldruck ist umgekehrt proportional zur Entfernung des Empfängers von der Schallquelle. In der Medizin wird statt des Schalldrucks der Schalldruckpegel in Dezibel (dB SPL) verwendet. Er gibt Schalldruck im logarithmischen Verhältnis zur definierten Bezugsschallquelle  $P_0$  ( $2 \times 10^{-5}$  Pa) in dB SPL an. Eine Erhöhung des Schalldruckpegels um 20 dB entspricht einer Verzehnfachung des Schalldrucks, eine Erhöhung um 60 dB einer Vertausendfachung. Die Frequenz einer Schwingung wird in Hertz angegeben, wobei ein Hertz (Hz) eine Schwingung pro Sekunde beschreibt. Die Frequenz von Schallwellen wird häufig in Kilohertz (kHz) angegeben.

Durch das Gehörorgan werden die Frequenz und die Lautstärke von Schallwellen wahrgenommen. Das Mittelohr ermöglicht eine Weiterleitung von Schall in das Innenohr durch eine Impedanzanpassung. Im Innenohr erfolgt die mechanoelektrische Umwandlung der Schallwellen in elektrische Erregung. Die zentrale Verarbeitung der Afferenzen erfolgt über eine kontra- und ipsilaterale Aktivierung mehrerer Hirnstammkerne. Die primäre Hörrinde liegt im Temporallappen und umfasst den Gyrus temporalis superficialis und die Gyri temporales transversi.



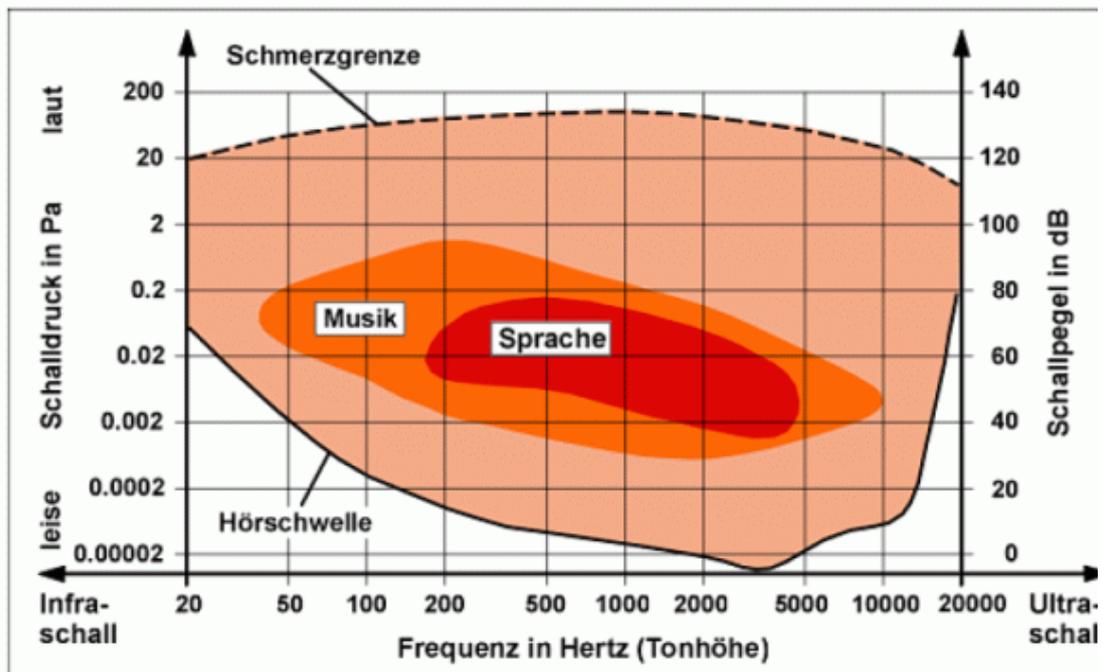
Die Cochlea wandelt Schall in neuronale Erregung um. In der Scala tympani und vestibuli befindet sich Perilymphe, die der Zusammensetzung des Liquors und der Extrazellulärflüssigkeit ähnlich ist. Die Scala media enthält Endolymphe, die von der Stria vascularis produziert wird. Die Flüssigkeiten sind inkompressibel und ermöglichen die Bildung der sogenannten Wanderwelle. Der Schall gelangt vom Mittelohr über das ovale Fenster in die Cochlea und wird dort im akustischen Frequenzbereich größtenteils absorbiert.

Die Basilarmembran, das Corti-Organ und die Reissner-Membran werden durch die Druckwelle in der Scala vestibuli Richtung Scala tympani verdrängt. Die Impedanz der Trennmembran ist frequenz- und ortsabhängig. Basal werden Töne mit hoher Frequenz wahrgenommen, während apikal tiefe Töne gehört werden. Durch die Wanderwelle werden die äußeren Haarsinneszellen, deren Stereozilien mit der Tektorialmembran in Kontakt stehen, ausgelenkt. Das

Molekül Prestin ermöglicht bei einem Ioneneinstrom eine Kontraktion der äußeren Haarsinneszelle und damit eine Verstärkung der Wanderwelle an der frequenzspezifischen Stelle der Cochlea. Dieser Effekt ist vor allem bei niedrigen und mittleren Lautstärken relevant. Die äußeren Haarsinneszellen werden vor allem efferent innerviert.

Durch die Kontraktion der äußeren Haarsinneszellen wird die Schwebbewegung zwischen Cortiorgan und Tectorialmembran verstärkt, die die Stereozilien der inneren Haarsinneszellen auslenkt. Diese sind durch tip links verbunden. Aus der Depolarisation der inneren Haarzellen resultiert eine Ausschüttung von Calcium-Ionen, durch die das Spiralganglienneuron erregt wird. Als bipolares Neuron besitzt es einen Dendriten und ein Axon, das in die ipsilateralen Nuclei cochlearis zieht. Die beschriebenen Neurone liegen am Modiolus der Cochlea und werden als Ganglion spirale (Spiralganglion) bezeichnet. Weitere Stationen der Hörbahn sind der Nucleus olivaris superior, der Lemniscus lateralis, der Colliculus inferior und das Corpus geniculatum mediale. Die beschriebenen Kerne stehen in komplexen Verbindungen, die unter anderem das Richtungshören durch einen Vergleich des rechts und links wahrgenommenen Schalls ermöglichen. Auf kortikaler Ebene liegt das Hörzentrum im Gyrus temporalis superficialis und in den Gyri temporales transversi. Die Aktivierung dieser Areale erfolgt bevorzugt kontralateral.

Der beschriebene Hörvorgang ermöglicht dem menschlichen Gehörorgan die Unterscheidung von verschiedenen Frequenzen und Lautstärken. In Abbildung 4 ist die Hörkurve eines hörgesunden Menschen dargestellt. Ein Mensch ist in der Lage Töne wahrzunehmen, deren Frequenz zwischen 20 und 16.000 Hertz liegt. Am besten werden Frequenzen von etwa 4 kHz gehört. In Abbildung 4 ist ersichtlich, dass die Hörschwelle von der Frequenz abhängt.



**Abbildung 4:** Hörkurve des Menschen. Der Sprachbereich liegt 40 und 80 dB in den Frequenzen zwischen 0,2 und 5 kHz. Quelle: <http://www.beyenbach.de/physik/uhoer.htm>

Als Isophone werden die Kurven bezeichnet, auf denen die Töne aller hörbaren Frequenzen für einen Menschen subjektiv gleich laut sind. Sie stimmen bei 1000 Hz mit der Angabe des Schalldrucks in Dezibel SPL überein. Die Isophone der normalen Hörschwelle liegt bei 1000 Hz bei 4 Phon. In der Reintonaudiometrie wird zur Vereinfachung die durchschnittliche Hörschwelle von gesunden Jugendlichen als 0 dB Hörverlust (dB HV) festgelegt (Zenner, 2010).

## 1.2 Grundlagen der Cochlea-Implantat-Versorgung

Ein Cochlea-Implantat ist eine bei hochgradiger Schwerhörigkeit oder Gehörlosigkeit verwendete elektronische Innenohrprothese. Der Höreindruck wird durch elektrische Stimulation der Spiralganglien der Cochlea erzeugt. Seit etwa 40 Jahren sind Cochlea-Implantate klinisch im Einsatz. Entscheidende Fortschritte in der Entwicklung erzielten Clark et al. (1976) durch die Einführung von Mehrkanal-Elektroden und Wilson et al. (1991) durch die Verbesserung der

Sprachkodierungsstrategie. Durch umfassende Entwicklungsarbeit konnte die Hörqualität und das Sprachverständnis der versorgten Patienten immer weiter verbessert werden (Buchner et al., 2017). Der Patient trägt einen



**Abbildung 5:** Übersicht über ein Cochlea-Implantat System in situ. Ein Cochlea-Implantat der Firma MED-EL ist dargestellt. Ersichtlich ist der hinter dem Ohr getragenen Sprachprozessor sowie das Implantat mit regelrechter intracochleärer Elektrodenlage. Die Verwendung der Abbildung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma MED-EL.

Sprachprozessor außen am Kopf, der mit dem Implantat über eine Sendespule kommuniziert. In Abbildung 5 ist schematisch ein Cochlea-Implantat System der Firma MED-EL in situ dargestellt.

Aktuell gibt es fünf Cochlea-Implantat Herstellerfirmen: Advanced Bionics, Cochlear®, MED-EL, Oticon Medical und Nurotron®.

### 1.2.1 Technische Grundlagen - Implantat und Sprachprozessor

Der Sprachprozessor wird in der Regel am Kopf getragen, bei kleinen Kindern kann er auch an der Kleidung befestigt werden. Ein „Hinter dem Ohr“ (HdO) Gerät hat durch eine angeschlossene Sendespule Kontakt zum Implantat. HdO-Geräte sind die am Häufigsten getragenen Sprachprozessoren. Alternativ gibt es „Single-Unit-Prozessoren“, bei denen der gesamte Sprachprozessor über dem Implantat sitzt und auf eine Trennung von Prozessor und Sendespule verzichtet wird. Cochlear (Kanso2™) und MED-EL (RONDO3®) bieten diese Sprachprozessoren an. Ein Single-Unit-Prozessor, ein HdO-Gerät und ein



**Abbildung 6:** Sprachprozessoren und Implantat der Firma MedEl. Links ist ein Single-Unit Sprachprozessor (RONDO2®) abgebildet, in der Mitte ein hinter dem Ohr Gerät mit Sendespule (SONNET2) und rechts das Implantat (SYCHRONY2) mit Elektrode (unten). Die Verwendung der Abbildung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma MED-EL.

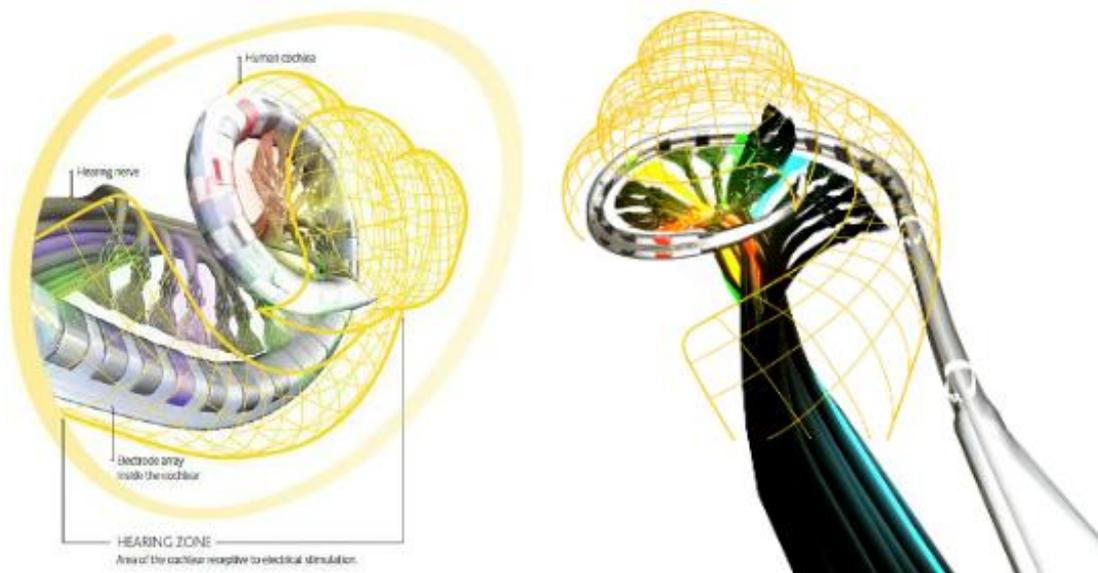
Implantat der Firma MED-EL sind in Abbildung 6 dargestellt. Die Energieversorgung des Sprachprozessors ist über Batterien oder Akkus gewährleistet. Der Sprachprozessorsystem besitzt ein bis drei Mikrofone.

Erfasster Schall wird vom Sprachprozessor in Frequenzen aufgegliedert und kodiert. Die kodierte Information wird über die Sendespule an die Empfängerspule des Implantats gesendet. Die Elektrode des Implantats liegt in der Cochlea ein und besteht aus bis zu 22 einzeln aktivierbaren Elektroden. Die

einzelnen Elektroden werden pulsatil unterschiedlich stark angesteuert (Buchner et al., 2017).

### **1.2.2 Operationstechnik und Operationsrisiken**

Die CI-Implantation wird in Vollnarkose durch einen erfahrenen Ohr-Chirurgen durchgeführt. Eine retroaurikuläre Schnittführung ermöglicht die Darstellung des Mastoids. Nach einer subtotalen Mastoidektomie wird eine posteriore Tympanotomie durchgeführt. Ziel ist die Darstellung der Rundfenstermembran. Anschließend wird ein Implantatlager unter dem Musculus temporalis angelegt und das Implantat in dieses eingelegt. Die Elektrode kann durch eine Inzision der Rundfenstermembran in die Scala tympani inseriert werden. Eine zweite Möglichkeit ist die Anlage einer Cochleostomie und eine anschließende Insertion der Elektrode. Beide Verfahren können atraumatisch und strukturerhaltend erfolgen und ermöglichen den Erhalt von Resthörvermögen (Nguyen et al., 2016). Anschließend werden elektrisch evozierte Potenziale gemessen, um die Lage der Elektrode (vgl. Abbildung 7) und neurale Reizantworten zu überprüfen. Zusätzlich kann der Stapedius-Reflex ausgelöst werden. Nach Abschluss der Messungen erfolgt ein dreischichtiger Wundverschluss. Postoperativ wird eine Cochlea-View Aufnahme, eine digitale Volumentomographie (DVT) oder eine Felsenbein-CT durchgeführt, um abschließend die Elektrodenlage zu kontrollieren.



**Abbildung 7:** Elektrodenlage in der Cochlea. Die Elektrode (silbern) liegt den am Modiolus liegenden Spiralganglienzellen (schwarz mit einzelnen eingefärbten Ganglienzellen) gegenüber. Die Cochlea wird durch das gelbe Gitterliniennetz schematisch dargestellt. Quelle: [http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/43e3246e-096b-4bfb-ae5b-cc398f02ce0d/en\\_product\\_cochlearimplant\\_demonstrationofcochlearimplantinsertedinsidethecochlea\\_humancochlea\\_551x285\\_173kb.jpg](http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/43e3246e-096b-4bfb-ae5b-cc398f02ce0d/en_product_cochlearimplant_demonstrationofcochlearimplantinsertedinsidethecochlea_humancochlea_551x285_173kb.jpg)

Neben den üblichen Narkose- und Operationsrisiken, wie zum Beispiel postoperative Übelkeit oder Wundheilungsstörungen, können bei einer CI-Implantation weitere spezifische Risiken auftreten. Der Patient kann durch die Operation vorhandenes Resthörvermögen verlieren. Temporärer Schwindel oder ein dauerhafter Vestibularisausfall kommen ebenfalls vor. Durch ihre anatomische Lage sind der Nervus facialis und die Chorda tympani gefährdet. Es kann zu einer Facialisparesie oder zu Schmeckstörungen kommen. Nach einer CI-Implantation kann ein Tinnitus erstmalig oder verstärkt auftreten. Ernsthafte, nicht reversible Komplikationen sind selten (Jeppesen et al., 2013; Sivam et al., 2017).

Eine Revision kann bei einer Elektrodenfehlage oder Infektion erforderlich sein. Implantat-Defekte führen zu einer Notwendigkeit des Implantataustausches. Die Herstellerfirmen veröffentlichen Daten über die Haltbarkeit und Zuverlässigkeit ihrer Implantate. Cochlear® gibt an, dass 99% (98,6% bei Kindern und 99,4 % bei Erwachsenen) der Nucleus CI24RE Implantate nach 12 Jahren noch funktionieren. Das SONATA Implantat der Firma MED-EL weist eine

Zuverlässigkeit von 99,8% nach 10 Jahren auf. Nimmt man unfallbedingtes Implantatversagen mit auf, dann liegt der Wert bei 97,77%. Durch eine gerätbedingte, unfallbedingte oder medizinische Ursache wurden 4,9% der Implantate innerhalb der ersten 10 Jahre ausgetauscht.

### **1.2.3 Nachsorge und Anpassung des Sprachprozessors**

Ein erfolgreicher Verlauf des Hörens mit CI hängt von mehreren Faktoren ab. Zwei wichtige Faktoren sind die Anpassungen des Sprachprozessors und das Hörtraining mit dem Cochlea-Implantat. Die Erstanpassung des Cochlea-Implantats findet im Comprehensive Cochlear Implant Center (CCIC) Tübingen 4 bis 6 Wochen nach der Implantation statt. Die erste Folgeanpassung schließt sich eine Woche nach der Erstanpassung an. Nach der Erstanpassung wird im CCIC Tübingen eine Intervallrehabilitation mit 20 Therapietagen empfohlen. Die Intervalle erfolgen in Abhängigkeit von der Distanz des Wohnortes zum CCIC ambulant oder stationär. Im Rahmen der Cochlea-Implantat-Rehabilitation erfolgt ein interdisziplinärer Therapieansatz mit Hörsprachtraining, Musiktherapie, Mototherapie, Physiotherapie, Ergotherapie und Kommunikationstraining. Es erfolgen regelmäßig Sprachprozessoranpassungen sowie intensive Technikberatungen und Beratungen bezüglich möglicher Zusatzgeräte. Die Abstände zwischen den Therapieintervallen sind anfangs kurz und werden im Verlauf von zwei Jahren immer größer, wenn der Therapiebedarf abnimmt. In Abhängigkeit von dem Hörergebnis kann eine Verlängerung um weitere 10 Therapietage bei dem Kostenträger beantragt werden. Nach Abschluss der Rehabilitation erfolgt im Rahmen der lebenslangen Nachsorge mindestens jährlich eine medizinische Kontrolle und Sprachprozessorkontrolle und -anpassung.

### 1.2.3.1 Anpassung des Sprachprozessors

Die Anpassung dient zur Optimierung der Sprachprozessoreinstellung. Sie wird von speziell geschulten CI-Technikerinnen des CCIC durchgeführt. Jede einzelne Elektrode wird angesteuert und in ihrer Funktion bestmöglich an die Bedürfnisse des einzelnen Patienten angepasst.

Die Hörschwelle wird als „threshold-level“ (T-Level) bezeichnet, das „maximum comfortable loudness level“ (MCL-Level) ist die maximal angenehme Lautstärke. Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten der Sprachprozessoranpassung. Zum einen kann mit dem Feedback des Patienten gearbeitet werden. Durch eine aktive Rückmeldung des Patienten können T- und MCL-Level bestimmte werden. Im Bereich zwischen MCL- und T-Level wird durch die Software der entsprechenden Hersteller ein Dynamikbereich festgelegt (Carlson et al., 2012).

Eine zweite Möglichkeit der Anpassung ergibt sich durch die Messung von „electrically evoked compound action potentials“ (ECAP). Die Messung der elektrisch evozierten Potenziale, die einem Summationspotential des Hörnervs entsprechen, ist mit modernen Cochlea-Implantaten möglich. Die Anpassung anhand der ECAPs erfolgt bei Patienten, die keine sicheren Aussagen zu MCL-Level und T-Level machen können. Das sind zum einen kleine Kinder, zum anderen Erwachsene, die keine Lautstärken beschreiben können (Carlson et al., 2012).

Sprachprozessoren sind in der Lage verschiedene Programme zu speichern, die von dem Patienten, passend zur akustischen Umgebung, ausgewählt werden können. Lautstärke und Mikrofonsensibilität können ebenfalls von dem Patienten eingestellt werden. Die Hersteller bieten Zusatzzubehör an, welches das Hören mit CI in bestimmten Situationen, wie zum Beispiel beim Telefonieren, erleichtern kann.

### **1.2.3.2 Hörtraining mit Cochlea-Implantat bei einseitiger Versorgung**

Neben der Anpassung des Sprachprozessors ist aktives und langfristiges Hörtraining für CI-Träger notwendig, um gute Hörergebnisse zu erzielen (Schumann et al., 2014). Im Rahmen der Anpassung und Rehabilitation wird logopädisches Hör- und Sprachtraining durchgeführt. Neben der Behandlung im CCIC Tübingen findet, in Abhängigkeit vom individuellen Bedarf des Patienten, zusätzlich ein heimatnahes logopädisches Hör- und Sprachtraining statt. Der Patient wird motiviert, selbstständig regelmäßig das neue Hören zu trainieren. Eine Möglichkeit hierfür ist die Nutzung von Hörtrainig-Apps. Wenn der Patient im Sprachverstehen fortgeschritten ist, kann er auch zum Beispiel Hörbücher nutzen und dabei anfangs den Text mitlesen. Bei einseitig ertaubten Patienten ist dabei wichtig, dass das versorgte Ohr isoliert trainiert wird, um keine Hilfestellung durch das normalhörende Ohr zuzulassen. Komplexere Hörsituationen können im weiteren Verlauf auch in binauralen Verhältnissen trainiert werden.

Die Anpassung des Sprachprozessors und das Hör- und Sprachtraining sind Bestandteil der ambulanten oder stationären Intervallrehabilitation des CCIC Tübingen. Zusätzlich werden Musiktherapie, Mototherapie, Physiotherapie, Tiefenentspannungstherapie und eine ärztliche Untersuchung durchgeführt.

## **1.3 CI-Implantation bei einseitiger Ertaubung**

Als einseitige Ertaubung oder single-sided deafness (SSD) wird Schwerhörigkeit von über 70 dB Hörverlust im „pure tone average“ (PTA, Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz) eines Ohres bezeichnet, wenn der PTA des besser hörenden Ohres nicht über 30 dB Hörverlust liegt (Van de Heyning et al., 2016). Davon abzugrenzen ist asymmetrischer Hörverlust (asymmetric hearing loss, AHL). Bei AHL ist der PTA des besser hörenden Ohres größer als 30 dB, aber nicht größer als 55 dB (Van de Heyning et al., 2016). Die CI-Implantation

bei SSD und AHL ist eine relativ neue Behandlungsmöglichkeit von SSD und AHL. Van de Heyning et al. führten 2008 die CI-Versorgung von SSD Patienten mit dekompensiertem Tinnitus ein. In einer Gruppe von 21 Patienten konnte eine signifikante Verbesserung des Tinnitus nachgewiesen werden (Van de Heyning et al., 2016). Zusätzlich wurde in diesem Patientenkollektiv eine signifikante Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch und der Hörqualität festgestellt (Vermeire et al., 2009). In den folgenden Jahren konnte in weiteren Studien signifikante Verbesserungen des Sprachverständnisses im Störgeräusch, des Richtungshörens und der Hör- und Lebensqualität von SSD Patienten nach Cochlea-Implantat-Versorgung nachgewiesen werden (Arndt et al., 2011a; Jacob et al., 2011b; Tavora-Vieira et al., 2013b).

### **1.3.1 Ursachen einseitiger Schallempfindungsschwerhörigkeit**

Im Folgenden wird nur auf die Ursache einseitiger somatosensorischer Schwerhörigkeit eingegangen. Die mechano-elektrische Transduktion der Haarsinneszellen ist bei einer Schallempfindungsschwerhörigkeit gestört.

Usami et al. (2017) veröffentlichten eine Studie, deren Ziel es war, die Verteilung der Ätiologie einseitiger Ertaubung zu beschreiben. Die Ursachen einseitiger Taubheit hängen vom Alter bei Ertaubung ab. Die Autoren fanden als Ätiologie der Ertaubung bei postlingual ertaubten Patienten (n = 182) in 55% der Fälle einen Hörsturz, bei 16% der Patienten war die Ertaubungsursache unbekannt. Jeweils etwa 10% der beschriebenen Patienten ertaubten durch ein Cholesteatom, eine chronische Otitis media, einen Tumor im Kleinhirnbrückenwinkel und „functional hearing loss“. Eine Perilymphfistel konnte bei 4,2% der Patienten gefunden werden. Nach einem Schädel-Hirn-Trauma ertaubten 3,2% der Patienten.

Bei Patienten, die kongenital oder in der frühen Kindheit ertaubt sind (n = 210), fanden die Autoren bei 40% eine Fehlbildung der Cochlea oder eine Hörnervenaplasie als Ursache der SSD. Bei 20% der Patienten war die

Ertaubungsursache unbekannt. In Japan ist eine Mumpsinfektion als Ertaubungsursache häufig. Sicher konnte eine Mumpsinfektion als Ertaubungsursache bei 6% der Patienten nachgewiesen werden. Allerdings vermuteten die Autoren bei weiteren 19% der Patienten eine Mumpsinfektion als Ertaubungsursache. Die Autoren verweisen auf eine mangelhafte Impfung der japanischen Bevölkerung gegen Mumps. Die Häufigkeit der Ertaubungsursachen von Patienten mit AHL unterscheiden sich von denen der SSD Patienten (Usami et al., 2017).

Neben den bereits beschriebenen Ursachen kommen in der vorliegenden Studie Otosklerose, Morbus Menière, Meningitis, Zoster oticus, akute Otitis media, Grippe-otitis und genetisch bedingte Schwerhörigkeit als Ertaubungsursache vor.

### **1.3.2 Prävalenz und Auswirkungen der einseitigen Ertaubung**

Schwerhörigkeit ist eine der häufigsten chronischen Erkrankungen. Laut einer aktuellen Studie haben 11,1 Millionen Deutsche (16,2 %) eine PTA des besseren Ohres von über 25 dB Hörverlust und sind damit nach WHO Definition schwerhörig (von Gablenz et al., 2017).

Agrawal et al. (2008) und Chia et al. (2007) berichteten in Studien über die Prävalenz von Hörverlust. Es wurde jeweils festgelegt, dass einseitiger Hörverlust vorliegt, wenn der PTA (Mittelwert der Frequenzen 0,5, 1, 2 und 4 kHz) des schlechter hörenden Ohres mindestens 25 dB Hörverlust beträgt, während auf der Gegenseite eine PTA von <25 dB Hörverlust vorliegt. Agrawal et al. (2008) fanden eine Prävalenz des einseitigen Hörverlusts zwischen 7,3% und 8,9%. Die von Chia et al. (2007) ermittelte Prävalenz lag bei 13,3%, wobei drei Viertel der beschriebenen Patienten über 60 Jahre alt waren. Einseitige Ertaubung (SSD) ist die Maximalform des einseitigen Hörverlusts und macht einen Teil dessen Prävalenz von 7,3-13,3% aus.

Binaurales Hören ermöglicht das Richtungshören, die räumliche Lokalisation von Schallquellen, und ein Sprachverständnis in komplexen Hörsituationen im Störgeräusch. Schall, der nicht direkt von vorne oder hinten auf einen menschlichen Kopf trifft, trifft jedes Ohr mit einer unterschiedlichen Intensität und Latenz. Der Laufzeitunterschied wird „interaural time difference“ (ITD) genannt. Unterschiede bis zu 10  $\mu$ s können vom menschlichen Gehör erkannt werden. Auf der Seite des Kopfes, die von der Schallquelle abgewandt ist, ist die Lautstärke reduziert. Der Effekt des Schallschattens wird als „interaural level difference“ (ILD) beschrieben. Der Lautstärkenunterschied ist frequenzabhängig (größer bei hohen Frequenzen) und kann bis zu 20 dB betragen (Akeroyd, 2006).

Der „summation effect“ oder „Summationseffekt“ beschreibt die Erregung der doppelten Anzahl an Neuronen beim binauralen Hören. Durch zentrale Integration wird das Signal mit doppelter Lautstärke wahrgenommen (Avan et al., 2015).

Der „head shadow effect“ oder „Kopfschatteneffekt“ beschreibt die Reflektion des Schalls am Kopf. Hierdurch geht dem einseitig ertaubten Patienten Information verloren, wenn der Schall auf das ertaubte Ohr fällt. Dies kann aber auch einen Vorteil ergeben, den ein Ohr gegenüber dem anderen Ohr hat, wenn Stör- und Nutzschall jeweils von gegenseitigen Richtungen auf die beiden Ohren treffen. Das dem Nutzschall zugewandte Ohr empfängt den ursprünglichen Nutzschall und einen durch die ILD reduzierten Störschall und ist dadurch bevorteilt. (Avan et al., 2015). Ein Patient mit SSD ist im Alltag häufig Situationen ausgesetzt, in denen sein besser zur Nutzschallquelle positioniertes Ohr ertaubt ist. Ein Beispiel hierfür ist ein rechtsseitig ertaubter Busfahrer, der von seinen Passagieren angesprochen wird.

Als „spatial release from masking“ (SRM) wird der Vorteil bezeichnet, den ein binaurales Hören schafft, wenn Nutz- und Störschall räumlich getrennt auftreten (Avan et al., 2015).

Wenn ein Ohr einem Störgeräusch zugewandt ist, während der Nutzschall von vorne kommt, kann ein binaural hörender Mensch einen Vorteil von etwa 3 dB

erlangen. Dieser Effekt wird „squelch effect“ genannt (Van de Heyning et al., 2016).

Die beschriebenen Effekte führen zu einer relevanten Benachteiligung eines einseitig ertaubten, monaural hörenden Menschen in Hörsituationen mit Störgeräusch (Persson et al., 2001; Welsh et al., 2004). Neben der messbaren Beeinträchtigung des Sprachverständnisses im Störgeräusch, geben einseitig ertaubte Patienten auch subjektiv eine Einschränkung des Richtungshörens und des Sprachverständnisses im Störgeräusch an (Wie et al., 2010). Im „Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale“ (SSQ, Fragebogen zur Bestimmung des (subjektiven) Hörvermögens) erreichen SSD Patienten in den meisten Untergruppen deutlich schlechtere Werte als normalhörige Kontrollpersonen. Sie geben unter anderem eine erhöhte Höranstrengung an. Das Sprachverständnis in Ruhe ist kaum eingeschränkt (Douglas et al., 2007).

Die Einschränkungen des Sprachverständnisses treten auch bei Kindern auf (Ruscetta et al., 2005). Außerdem konnte nachgewiesen werden, dass Kinder mit SSD in der Sprachentwicklung eingeschränkt sind (Lieu et al., 2010). Kindern mit SSD zeigen vermehrt Verhaltensauffälligkeiten und ihre schulischen Leistungen sind im Vergleich zu normalhörigen Kindern geringer (Lieu, 2013).

Hörgeschädigte Menschen leiden im Vergleich zur Normalbevölkerung vermehrt an Tinnitus (Axelsson et al., 1989). In einer Gruppe von 15 einseitig ertaubten CI-Trägern konnte nachgewiesen werden, dass einseitiger Tinnitus das Sprachverständnis des kontralateralen Ohres einschränkt (Mertens et al., 2013).

Die Aktivierung des auditorischen Kortex erfolgt bei normalhörigen Personen primär kontralateral zum aktivierten Ohr. Bei 5 einseitig ertaubten Patienten (Ertaubungsdauer zwischen 5 und 43 Jahren) konnte eine symmetrischere Aktivierung des auditorischen Kortex beobachtet werden (Langers et al., 2005). Ein Patient, der durch eine Operation ertaubte, erhielt vor seiner Ertaubung und im postoperativen Verlauf eine funktionelle MRT Bildgebung des auditorischen Kortex. Die ursprünglich kontralaterale Aktivierung wandelte sich innerhalb eines Jahres in eine nahezu symmetrische Aktivierung der beiden auditorischen

Kortizes um (Bilecen et al., 2000). Die kortikalen Veränderungen scheinen bei linksseitig ertaubten Patienten, folglich im rechten Kortex, häufiger zu sein (Hanss et al., 2009).

Pross et al. (2015) fanden in einer Studie mit 12 normalhörigen Probanden und 12 Probanden mit SSD in der normalhörigen Gruppe eine Latenz zwischen kontra- und ipsilateraler Aktivierung des Kortex von 6,6 Millisekunden. Die Latenz war in der SSD Gruppe signifikant geringer und lag bei 1,7 Millisekunden. In einer verbundenen Studie mit 13 normalhörigen Probanden und 13 Probanden mit SSD wurde durch Magnetoencephalographic imaging (MEGI) die Breite der Aktivierung im Kortex gemessen. Die Aktivierung des kontralateralen Kortex bei Patienten mit SSD war signifikant größer als in der Kontrollgruppe (Chang et al., 2016).

Sharma et al. (2016) führten eine Einzelfallstudie mit einem einseitig ertaubten Mädchen durch, das mit einem CI versorgt wurde. Die akustisch evozierten Potenziale, die präoperativ eine abweichende Konfiguration zeigten, glichen sich im Verlauf von 14 Monaten der typischen Morphologie an.

### **1.3.3 Entwicklung der Cochlea-Implantat Versorgung bei einseitiger Ertaubung**

Die klassische Behandlung einseitiger Ertaubung war die Versorgung mit „contralateral routing of the sounds“ (CROS) Hörgeräten oder einem Knochenleitungshörgerät („bone conducting device“, BCD). Sowohl CROS-Hörgeräte als auch Knochenleitungshörgeräte nehmen Schall auf der ertaubten Seite auf und leiten ihn zur funktionierenden Cochlea um. Bei Knochenleitungshörgeräten gelangt der Schall durch direkte (Implantat) oder indirekte (Stirnband) Knochenleitung zur kontralateralen Cochlea. CROS-Hörgeräte funktionieren über ein auf der normalhörigen Seite getragenes Hörgerät, das digital oder durch eine Kabelverbindung akustische Informationen von einem auf der ertaubten Seite getragenen Mikrofon empfängt. Beide

beschriebenen Hörlösungen ermöglichen sogenanntes „pseudobinaurales“ Hören. Ist das ertaubte Ohr der Zielschallquelle zugewandt, dann profitieren die Patienten von den getragenen Geräten. Im Vergleich dazu wird bei einer Positionierung des ertaubten Ohres zum Störgeräusch hin dieses von der ertaubten Seite zum normalhörenden Ohr übertragen. Das Richtungshören der versorgten Patienten lässt sich durch ein CROS-Hörgerät oder ein Knochenleitungshörgerät nicht verbessern (Finbow et al., 2015; Hol et al., 2005).

Von van de Heyning et al. stammt die erste Studie über den Einsatz von Cochlea-Implantaten bei einseitig ertaubten Patienten. In einer Studie mit 21 einseitig ertaubten Patienten mit dekompenziertem Tinnitus konnte nachgewiesen werden, dass eine Cochlea-Implantat Versorgung zu einer signifikanten Reduktion des Tinnitus führt (Van de Heyning et al., 2008). Von 20 der ursprünglichen 21 Patienten, wurden 12 Monate nach der Implantation Untersuchungen des Sprachverständnisses im Störgeräusch durchgeführt. Zusätzlich wurde der SSQ Fragebogen erhoben. Die Patienten wurden in eine SSD Gruppe (n=11) und eine AHL Gruppe (n=9) eingeteilt. Es konnte eine signifikante Verbesserung der Angaben im SSQ Fragebogen nachgewiesen werden. Eine Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch war in der SSD Gruppe nur in der Messbedingung  $S_0N_{SSD}$  signifikant (Vermeire et al., 2009). In den folgenden Jahren wurden in zunehmend größeren Patientengruppen signifikante Verbesserungen der Belastung durch Tinnitus, des Sprachverständnisses im Störgeräusch, des Richtungshörens und der Hör- und Lebensqualität durch die Versorgung von einseitig ertaubten Patienten mit einem Cochlea-Implantat nachgewiesen (Arndt et al., 2017; Dorbeau et al., 2018; Galvin et al., 2019; Grossmann et al., 2016; Legris et al., 2020; Tavora-Vieira et al., 2015b).

In mehreren Studien konnte eine signifikante Verbesserung des Tinnitus bei einseitig ertaubten Patienten nachgewiesen werden (Gartrell et al., 2014; Holder et al., 2017; Liu et al., 2018; Ramos Macias et al., 2018; Tavora-Vieira et al., 2013b). Arts et. al konnten nachweisen, dass eine Verminderung des Tinnitus auch durch eine pulsierende Stimulation der Elektrode ohne weiteren

akustischen Inhalt möglich ist. Es bestand kein signifikanter Unterschied zu der Verminderung des Tinnitus durch ein Cochlea-Implantat im Alltagsbetrieb (Arts et al., 2015; Arts et al., 2016).

Eine signifikante Verbesserung des Richtungshörens konnte unter anderem von Arndt et al. (2016), Mertens et al. (2016) und Dillon et al. (2017) nachgewiesen werden. Mertens et al. (2016) fanden ein besseres Richtungshören mit Breitbandgeräusch (0,5 - 20 kHz) und hochfrequentem Geräusch (3 - 20 kHz), als Stimuli als mit einem niederfrequenten Geräusch (0,5 – 1,5 kHz).

Der gebräuchlichste Sprachtest, mit dem das Sprachverstehen im Störgeräusch gemessen wird, ist im deutschen Sprachraum der Oldenburger Satztest (OISa). Sinnfreie Sätze werden in verschiedenen räumlichen Messbedingungen durch testeigenes Rauschen vertäubt. Im englischen Sprachraum wird unter anderem der „Bamford-Kowal-Bench speech in noise test“ (BKB-SIN) verwendet. Die Messbedingung, in der gemessen wurde, wird zum Beispiel als  $S_0N_{NH}$  abgekürzt. Dabei steht S für Sprache (speech) und die tiefgestellte 0 für die Präsentationsrichtung (von vorne). Das N steht für Störgeräusch (noise) und das tiefgestellte NH für Präsentationsrichtung, in diesem Fall von der normalhörigen (NH) Seite. Allgemein wird als Präsentationswinkel in dieser Arbeit  $90^\circ$  angenommen. Wenn eine Untersuchung abweicht und das Störgeräusch zum Beispiel im  $45^\circ$  Winkel auf das ertaubte (SSD) Ohr fällt, dann wird die Messbedingung als  $S_0N_{45SSD}$  beschrieben.

Arndt et al. (2016) und Rahne et al. (2016) konnten im Oldenburger Satztest in der Messbedingung  $S_0N_0$  (Sprache und Störgeräusch von vorne) eine signifikante Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses durch die CI-Versorgung nachweisen. Im BKB-SIN Test konnte in  $S_0N_0$  ebenfalls eine signifikante Verbesserung nachgewiesen werden (Tavora-Vieira et al., 2015b). Keine signifikante Veränderung konnten Grossmann et al. (2016) und Jacob et al. (2011a) im OISa und Friedmann et al. (2016) im BKB-SIN Test nachweisen. Die Verbesserung in dieser Messbedingung wird auf den Summationseffekt zurückgeführt, der durch die Erregung der doppelten Menge an Neuronen bei beidseitigem Hören begründet wird.

In der Messbedingung  $S_0N_{NH}$  wird das normalhörige Ohr durch das Störgeräusch beeinträchtigt, während das CI eine räumlich günstigere Position zur Sprache einnimmt. Eine signifikante Verbesserung in dieser Messbedingung konnte von Tavora-Vieira et al. (2015b), Friedmann et al. (2016) und Grossmann et al. (2016) nachgewiesen werden. In der Bedingung  $S_0N_{45NH}$  fanden Grossman et al. ebenfalls eine signifikante Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses.

Der Kopfschatteneffekt entsteht durch Reflektion von Schall am Kopf eines Menschen, wobei das der Nutzschallquelle abgewandte Ohr benachteiligt ist. In der Messbedingung  $S_{SSD}N_{NH}$  profitiert das mit einem CI versorgte SSD-Ohr in doppelter Hinsicht vom Kopfschatteneffekt. Zum einen ist das CI der Nutzschallquelle günstig zugewandt, zum anderen liegt es im Schallschatten des Störgeräusches. Hiervon ergibt sich eine signifikante Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses im Störgeräusch durch die CI-Versorgung (Rahne et al., 2016; Tavora-Vieira et al., 2015b). Arndt et al. (2016) fanden in der modifizierten Messbedingung  $S_{45SSD}N_{45NH}$  ein signifikant besseres Hören im Störgeräusch.

In der Messbedingung  $S_0N_{SSD}$ , in der die Sprache von vorne kommt und das Störgeräusch von der ertaubten Seite, konnten Friedmann et al. (2016) und Grossmann et al. (2016) ein signifikant besseres Signal-Rausch-Verhältnis nach der Cochlea-Implantat-Versorgung nachweisen. Grossmann et al. fanden in der ähnlichen Messbedingung  $S_0N_{45SSD}$  im selben Patientenkollektiv keine signifikante Verbesserung. Arndt et al. (2016) konnten in einer Messbedingung, in der sowohl Sprache als auch Störgeräusch um  $45^\circ$  Richtung normalhöriges Ohr geschwenkt waren ( $S_{45NN}N_{45SSD}$ ), keine signifikante Veränderung des Signal-Rausch-Verhältnisses feststellen.

Arndt et al. (2011a) gelang es in einer prospektiven Studie mit 11 postlingual ertaubten Patienten eine signifikante Überlegenheit der CI Versorgung über die Versorgung mit CROS oder BAHA Geräten nachzuweisen. 2016 konnte das Ergebnis in einer größeren Patientengruppe bestätigt werden (Arndt et al., 2016).

Rosli et al. (2015) fanden in einem Kollektiv von 8 Patienten mit SSD signifikante Verbesserungen im NCIQ in allen Kategorien, außer der Sprachproduktion. In

einer Kohorte von 10 Patienten mit SSD konnten Louza et al. (2017) nur in der Kategorie Grundlegende Schallwahrnehmung eine signifikante Verbesserung nachweisen. Sladen et al. (2017) konnten in einer Kohorte von 20 einseitig ertaubten Patienten eine signifikante Verbesserung in allen 6 Kategorien des NCIQ nachweisen. Die Werte des SSQ waren in den drei Kategorien im Vergleich zu den präoperativen Angaben ebenfalls verbessert, es wurde allerdings kein p-Wert angegeben. Signifikante Verbesserungen des SSQ fanden unter anderem Mertens et al. (2016) im Mittelwert der Kategorien, Arndt et al. (2016) in den Kategorien Sprachverstehen und räumliches Hören und Tavora-Vieira et al. (2013b) in allen drei Kategorien.

Wenige Jahre nach der Publikation von van de Heyning et al. wurden die ersten Ergebnisse von CI-Implantationen bei einseitig ertaubten Kindern publiziert. Plontke et al. (2013) implantierten einen achtjährigen Jungen wenige Wochen nach einer Ertaubung durch eine Felsenbeinfraktur. Im Freiburger Sprachtest mit Einsilbern bei 65 dB fand sich nach 6 Monaten ein Verständnis von 90%. Richtungshören und Sprachverständnis waren ebenfalls verbessert. Hassepass et al. (2013) berichten von drei postlingual einseitig ertaubten Kindern (4, 10 und 11 Jahre alt), die mit einem CI versorgt wurden. Mit den beiden älteren Kindern wurden audiologische Untersuchungen durchgeführt. Im OISa und HSM konnten signifikante Verbesserungen des Sprachverständnisses in unterschiedlichen Situationen nachgewiesen werden. Das Richtungshören der beiden Kinder war ebenfalls verbessert.

Arndt et al. (2015) untersuchten die Auswirkungen des Ertaubungszeitpunktes auf die Ergebnisse von 13 Kindern. Die von Hassepass et al. (2013) beschriebenen drei Kinder waren in diesem Kollektiv eingeschlossen. Zwei Kinder waren kongenital ertaubt und erzielten schlechte audiologische Ergebnisse. Eines der Kinder ist non-user, das andere trägt das CI nur in der Schule. Von den zwei perilingual ertaubten Kindern erzielte eines eher gute und eines ein eher schlechtes Ergebnis in den audiologischen Untersuchungen. Neun der Kinder waren postlingual ertaubt. Im OISa erreichten sie in den Messbedingungen  $S_0N_0$  und  $S_{SSD}N_{NH}$  mit CI ein signifikant besseres Signal-

Rausch-Verhältnis. Das Richtungshören war ebenfalls signifikant verbessert. Im SSQ Fragebogen zeigten die Angaben der Kinder und der Eltern 12 Monate nach der Implantation in allen drei Kategorien (Sprachverstehen, räumliches Hören, Sprachqualität) signifikant bessere Ergebnisse.

Tavora-Vieira et al. (2015a) fanden bei 2 von 3 kongenital ertaubten Patienten ebenfalls schlechte audiologische Ergebnisse. Ein postlingual ertaubtes Kind erreichte in  $S_0N_0$ ,  $S_0N_{NH}$  und  $S_{SSD}N_{NH}$  verbesserte Ergebnisse mit CI.

In einer Kohorte von 14 kongenital ertaubten Kindern fanden Thomas et al. (2017) 12 Monate nach OP eine signifikante Verbesserung in  $N_{SSD}S_{NH}$ ,  $S_{SSD}N_{NH}$  und  $S_0N_0$ . Eltern und Kinder beantworteten den SSQ Fragebogen postoperativ für den versorgten und den unversorgten Zustand. Die Ergebnisse waren in allen Kategorien für den Zustand mit CI signifikant besser.

Polonenko et al. (2017) untersuchten die Tragedauer und Hörumgebung von 7 Kindern mit SSD und CI, indem die Prozessoren ausgelesen wurden. Als mittlere Tragedauer fanden sie 7,4 (Standardabweichung 1,7) Stunden pro Tag. Ältere Kinder trugen ihr CI länger als jüngere. Am häufigsten erkannte der Prozessor „speech in noise“ als Hörumgebung.

## **1.4 Fragestellung der vorliegenden Studie**

Die vorliegende Studie beschreibt den Einfluss einer CI-Implantation bei einseitiger Ertaubung auf das Hören und die Lebensqualität der versorgten Patienten im CCIC in Tübingen. In der Auswertung wurde zwischen Erwachsenen und Kindern unterschieden.

Im Zentrum der Analyse standen das Hören in Ruhe und im Störgeräusch sowie die Ergebnisse des Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire zur

Lebensqualität der versorgten Patienten. Analysiert werden präoperative und im postoperativen Verlauf erhobene Messwerte.

Ein weiteres Ziel dieser Studie war die Untersuchung von negativen und positiven prognostischen Faktoren auf das Ergebnis nach der CI-Implantation im Patientenkollektiv dieser Studie. Die Erwachsenen wurden dafür in Gruppen (siehe 2.3) unterteilt. Folgende Fragen wurden untersucht:

- Was waren die Ursachen der einseitigen Ertaubung und wie waren sie verteilt?
- Wie war das präoperative Hörvermögen in der Reintonaudiometrie?
- Welchen Einfluss hatte die Ursache der Ertaubung auf das Hörergebnis in Ruhe und im Störgeräusch sowie auf die Ergebnisse des NCIQ Fragebogens?
- Welchen Einfluss hatte die Dauer der Ertaubung auf das Hörergebnis in Ruhe und im Störgeräusch sowie auf die Ergebnisse des NCIQ Fragebogens?
- Welchen Einfluss hatte das Alter der Patienten auf das Hörergebnis in Ruhe und im Störgeräusch sowie auf die Ergebnisse des NCIQ Fragebogens?
- Welchen Einfluss hatte der Zeitpunkt der Ertaubung auf das Hörergebnis in Ruhe und im Störgeräusch sowie auf die Ergebnisse des NCIQ Fragebogens?
- Existieren Zusammenhänge zwischen den Hörergebnissen und den Ergebnissen der Fragebögen?

Die oben genannten Fragen stellen sich ebenfalls für die beschriebenen Kinder. Für diese lagen keine Ergebnisse von Fragebögen vor. Aufgrund der geringen Fallzahl war die Bildung von Untergruppen nicht möglich. Die einzelnen Fälle wurden beschrieben und verglichen.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Aufbau der vorliegenden Studie**

Bei der vorliegenden Analyse handelt es sich um eine retrospektive Studie. Alle im Comprehensive Cochlear-Implant-Centrum (CCIC) Tübingen betreuten einseitig ertaubten Patienten, die bis Ende 2016 mit einem Cochlea Implantat versorgt wurden, wurden ausgewählt.

Die beschriebenen Hörtests und Fragebögen wurden präoperativ und 3, 6, 12, 18 und 24 Monate nach der Erstanpassung des Patienten durchgeführt. Anschließend wurden bei der jährlichen Kontrolle der Patienten die Messungen durchgeführt. In der vorliegenden Studie wurden folgende Intervalle als Zeitraum der Messung definiert:

- 0 bis 4,5 Monate nach der Erstanpassung: 3 Monate
- 4,5 bis 9 Monate nach der Erstanpassung: 6 Monate
- 9 bis 18 Monate nach der Erstanpassung: 12 Monate
- 18 bis 30 Monate nach der Erstanpassung: 24 Monate
- und fortlaufend für weitere Intervalle

Ein Vergleich der Werte einzelner Messungen (z.B. OISa und NCIQ) zwischen den Gruppen erfolgte mit der Messung, die am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung durchgeführt wurde, wobei Messungen vor der Erstanpassung nicht berücksichtigt wurden.

Alle vorliegenden Hörtestungen und Fragebögen wurden in einer Datenbank erfasst, zu zuvor im Rahmen einer Dissertation (Dofek, 2019) erstellt wurde. Nachdem alle Daten erfasst waren, wurden die in 2.3.2 beschriebenen Ein- und Ausschlusskriterien für jeden Patienten geprüft. Die Daten der eingeschlossenen Patienten wurden daraufhin nach den in 1.4 beschriebenen Fragen analysiert.

Die vorliegende Studie wurde von der Ethik-Kommission der medizinischen Fakultät Tübingen genehmigt (Projekt-Nummer 413-2017BO2).

## **2.2 Internationaler Konsensus zum Aufbau von Studien über die CI-Implantation bei einseitig ertaubten Patienten**

Ein zentrales Problem der Studien zur Cochlea-Implantat-Versorgung bei einseitig ertaubten Patienten ist ihre mangelnde Vergleichbarkeit. Die Studien unterscheiden sich in großem Maße bezüglich ihrer Einschlusskriterien, Messungen, Messverfahren und Messzeitpunkten (Tavora-Vieira et al., 2016). Um dieses Problem zu minimieren, wurde bei zwei Treffen von Spezialisten der Cochlea-Implantat-Versorgung ein Konsensus über den Aufbau von prospektiven Studien zur CI-Implantation bei einseitig ertaubten Patienten entwickelt (Van de Heyning et al., 2016).

Folgende Kriterien für single-sided-deafness (SSD) wurden erarbeitet:

- Der pure-tone-average (PTA) der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz der Reintonaudiogramme des besser hörenden Ohrs darf nicht über 30 Dezibel Hörverlust sein.
- Der pure-tone-average (PTA) der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz der präoperativen Reintonaudiogramme des schlechter hörenden (SSD-) Ohrs darf nicht unter 70 Dezibel Hörverlust sein.

Nach dem internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016) erfolgt nach den folgenden Kriterien der Ausschluss eines Patienten:

- nicht postlingual ertaubt
- länger als 15 Jahre ertaubt
- vorliegende Schädigung des Hörnervs
- keine Bereitschaft an den Untersuchungen und an der Rehabilitation teilzunehmen
- vorliegende Kontraindikation für eine CI-Implantation
- Tinnitus, für den nicht eine Schädigung der Cochlea ursächlich ist
- unrealistische Erwartungshaltung

Im internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016) wird vorgeschlagen, dass jeder Patient drei Wochen ein contralateral routing of signals (CROS)

Hörgerät und ein Knochenleitungshörgerät (bone conducting device, BCD) tragen soll.

Von den Patienten sollten unversorgt, mit CROS Hörgerät und BCD sowie 1, 3, 6 und 12 Monate nach potenzieller Erstanpassung folgende Messwerte erfasst werden:

- Reintonaudiometrie des besseren hörenden Ohres
- Richtungshören: Sieben Lautsprecher werden von  $-90^\circ$  bis  $+90^\circ$  im Abstand von  $30^\circ$  aufgebaut.
- Sprachverständnis im Störgeräusch: Erfassung der 50% Verständnisschwelle bei einem Störgeräusch von zwei Sprechern mit 65 dB. Untersucht werden die Messbedingungen  $S_{SSD}N_{NH}$ ,  $S_0N_{SSD}$  und  $S_0N_0$ .
- Lebensqualität, erfasst mit dem speech, spatial and quality of hearing questionnaire (SSQ)
- Tinnitus, erfasst mit dem tinnitus functional index questionnaire und einer visuellen Analogskala
- tägliche Tragedauer des Geräts, erfasst durch Nachfragen oder durch das Auslesen des Prozessors

Bei der vorliegenden retrospektiven Studie waren Teile der oben angegebenen Vorschläge nachträglich nicht erfüllbar. So lagen zum Beispiel verwertbare Untersuchungen des Richtungshörens und der täglichen Tragedauer nicht vor.

Die verwendeten Fragebögen und der Aufbau der Untersuchung des Sprachverständnisses im Störgeräusch unterschieden sich ebenfalls von den Vorschlägen des Konsensus. Im Oldenburger Satztest lagen keine Messungen im Aufbau  $S_{SSD}N_{AH}$  vor. Stattdessen kam die Sprache von vorne und das Störgeräusch wurde auf der normalhörigen Seite angeboten ( $S_0N_{NH}$ ). Die abweichenden Fragebögen sind in 2.4.2 beschrieben.

## **2.3 Patientenkollektiv**

### **2.3.1 Auswahl der einseitig ertaubten Patienten**

Patienten mit einer einseitigen Ertaubung, die von 2009 bis einschließlich Mai 2017 im CCIC Tübingen mit einem Cochlea Implantat versorgt wurden, wurden ausgewählt und erfasst. Dies waren 120 erwachsene Patienten und 11 Kinder. Zusätzlich wurden die Daten zweier extern operierten erwachsenen Patienten erfasst, die ihre Rehabilitation im Cochlear-Implant-Rehabilitations Centrum Tübingen durchführten.

Insgesamt wurden demnach zunächst 122 Erwachsene und 11 Kinder ausgewählt und erfasst.

### **2.3.2 Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien für erwachsene Patienten**

133 Patienten wurden ausgewählt und ihre Daten wurden erfasst. 122 dieser Patienten waren bei CI-Implantation über 18 Jahre alt und gelten damit als Erwachsene. Patienten, die bei ihrer CI-Implantation unter 18 Jahre alt waren (n = 11), werden gesondert beschrieben.

Für die 122 Erwachsenen wurden die in Tabelle 1 beschriebenen Ausschlusskriterien angewendet. Ausgeschlossen wurden alle Patienten, die nicht über mindestens 6 Monate Hörerfahrung nach der Erstimplantation verfügten (n = 7). Für die PTA des normalhörigen Ohres wird im internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016) ein Wert  $\leq 30$  Dezibel Hörverlust gefordert und hier angewendet. In der letzten präoperativen

**Tabelle 1:** Ausschlusskriterien und Einteilung in Gruppe A, B und C. In der vorliegenden Tabelle sind 3 Ausschlusskriterien angegeben, durch die Patienten von der allgemeinen Betrachtung ausgeschlossen werden. Als Orientierung diene der internationale Konsensus über Studien der Cochlea Implantat Versorgung bei SSD. Die gebildeten Gruppen wurden in 2.3.2 beschrieben.

	<b>Ausgeschlossene Erwachsenen (n, Mehrfachnennung möglich)</b>
<b>Generelles Ausschlusskriterium</b>	
122 überprüfte Erwachsene nach folgenden Kriterien	
Nachsorge <6 Monate	7
PTA >30 dB Hörverlust auf der normalhörigen Seite	5
Anzahl ausgeschlossener Patienten	12
<b>Ausschluss aus Betrachtung in Gruppe A und B</b>	
110 überprüfte Erwachsene nach folgenden Kriterien	
PTA <70 dB Hörverlust auf der ertaubten Seite	4
keine ausreichenden Deutschkenntnisse	7
Fibrosierung der Cochlea	4
intracochleäres Schwannom	3
Ertaubung nach Resektion eines Vestibularisschwannoms	3
Facialisstimulation durch Implantat	1
Anzahl aus Gruppe A und B ausgeschlossene Patienten	22
<b>Ausschluss aus Gruppe A</b>	
Ertaubungsdauer >15 Jahre	25
nicht postlingual ertaubt	9
<b>Anzahl ausgeschlossener Patienten</b>	25
<b>Übersicht</b>	<b>Anzahl</b>
<b>Ausgeschlossene Erwachsene</b>	12
<b>Gruppe A (Patienten nach internationalem Konsensus)</b>	63
<b>Gruppe B (aus Gruppe A aufgrund einer Ertaubungsdauer über 15 Jahre ausgeschlossene Erwachsene)</b>	25
<b>Summe Gruppe A und Gruppe B</b>	88
<b>Gruppe C (Aus Gruppe A und B ausgeschlossene Patienten, die einzeln beschrieben werden)</b>	22

Reintonaudiometrie erreichten fünf Patienten das geforderte Kriterium nicht (PTA zwischen 32,5 und 46,25 dB HV) und wurden ausgeschlossen. Zwei Patienten hatten im postoperativen Verlauf einen Hörsturz auf der normalhörigen Seite. Innerhalb von zwei Wochen erholte sich das Hörvermögen dieser Patienten vollständig. Diese zwei Patienten wurden eingeschlossen. Ein progredienter Hörverlust mit einer Verschlechterung der PTA über die Grenze von 30 dB Hörverlust fand im postoperativen Verlauf bei keinem Patienten statt.

Durch die beschriebenen zwei Ausschlusskriterien wurden 12 Erwachsene erfasst. Sie wurden ausgeschlossen und sind im Folgenden nicht weiter beschrieben.

Der PTA des SSD-Ohres soll laut internationalem Konsensus (Van de Heyning et al., 2016)  $\geq 70$  Dezibel Hörverlust liegen. Der PTA der letzten, präoperativen Reintonaudiometrie wurde bezüglich dieses Kriteriums überprüft. Vier der 122 Patienten erfüllen dieses Kriterium nicht. Die PTA dieser Patienten lag zwischen 63,75 und 68,75 dB Hörverlust. Diese vier Patienten wurden aus der allgemeinen Betrachtung ausgeschlossen, sie werden allerdings in Gruppe C (Einteilung in 2.3.2) beschrieben, um eine Aussage über die Implantation bei SSD mit gutem Resthörvermögen treffen zu können.

### **2.3.3 Unterteilung der erwachsenen Patienten in Untergruppen**

Aus den 109 eingeschlossenen Patienten wurden drei Gruppen gebildet. Ziel war der Vergleich von Patienten mit kurzer (<15 Jahre) und langer (>15 Jahre) Ertaubungsdauer durch die Bildung von zwei Gruppen. Die 63 Patienten der Gruppe A erfüllten alle Kriterien des internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016). In Gruppe B wurden 25 Patienten, die eine Ertaubungsdauer von über 15 Jahren hatten zusammengefasst. Bei 9 dieser 25 Patienten lag eine möglicherweise kongenitale Ertaubung vor. Eine genauere Beschreibung der einzelnen Gruppen findet sich im Gliederungspunkt 3.1.

Um die Vergleichbarkeit von Gruppe A und Gruppe B zu gewährleisten, wurden Patienten ohne ausreichende Deutschkenntnisse (n = 7), mit potenzieller Schädigung der Spiralganglien bzw. des Hörnerven (Ertaubung nach Resektion eines Vestibularisschwannoms, n = 3, intracochleäres Schwannom, n = 3), Fibrosierung der Cochlea (n = 4, unvollständig eingeführte Elektrode in 2 Fällen) und Facialisstimulation durch das Implantat (n = 1) aus der vergleichenden Betrachtung ausgeschlossen. Die Fibrosierung der Cochlea wurde bei beiden Patienten mit einer unvollständigen Insertion der Elektrode in

**Tabelle 2:** Ertaubungsursache und Begründung des Einschlusses in Gruppe C (Teil I). Den Patienten ist eine Patientennummer (Pat.-Nr.) zugewiesen. Die erste Nummer kodiert den Einschlussgrund in Gruppe C, die 2. den Patienten in dieser Gruppe. Geschlecht (G.) männlich (m) oder weiblich (w) und Ertaubungsseite (Seite) rechts (re) oder links (li) sind angegeben. Die Ertaubungsursache ist wie in Gruppe A und B gegliedert.

Pat.-Nr.	Begründung Gruppe C	G.	Seite	Ertaubungsursache	Kommentar Ertaubungsursache
1-1	keine guten Deutschkenntnisse	m	re	Cholesteatom	
1-2	keine guten Deutschkenntnisse	m	li	genetisch	
1-3	keine guten Deutschkenntnisse	w	li	infektiös	chron. Otitis media
1-4	keine guten Deutschkenntnisse	m	re	Otosklerose	postoperativ ertaubt
1-5	keine guten Deutschkenntnisse	w	li	traumatisch	Schlag auf das Ohr
1-6	keine guten Deutschkenntnisse	m	li	traumatisch	Schädelhirntrauma
1-7	keine guten Deutschkenntnisse	w	re	unbekannt	
2-1	Fibrosierung der Cochlea, basale Windung	m	li	Hörsturz	
2-2	Fibrosierung der Cochlea, verknöcherte Rundfenstermembran	w	li	infektiös	Meningitis (bakteriell)
2-3	Fibrosierung der Cochlea, 7 Elektroden verbleiben extracochleär	w	re	infektiös	akute Otitis media
2-4	Fibrosierung der Cochlea, 2 Elektroden verbleiben extracochleär	m	re	infektiös	chron. Otitis media

der präoperativen Magnetresonanztomographie erkannt und beschrieben. Nach einer kritischen Abwägung erfolgte dennoch die Entscheidung zur CI-Implantation. Bei den anderen beiden Patienten zeigte sich intraoperativ

**Tabelle 3:** Ertaubungsursache und Begründung des Einschlusses in Gruppe C (Teil II). Den Patienten ist eine Patientenummer (Pat.-Nr.) zugewiesen. Die erste Nummer kodiert den Einschlussgrund in Gruppe C, die 2. den Patienten in dieser Gruppe. Geschlecht (G.) männlich (m) oder weiblich (w) und Ertaubungsseite (Seite) rechts (re) oder links (li) sind angegeben. Die Ertaubungsursache ist wie in Gruppe A und B gegliedert.

Pat.-Nr.	Begründung Gruppe C	G.	Seite	Ertaubungsursache	Kommentar Ertaubungsursache
3-1	intracochleäres Schwannom	w	re	Hörsturz	intracochleäres Schwannom
3-2	intracochleäres Schwannom	w	re	Hörsturz	intracochleäres Schwannom
3-3	intracochleäres Schwannom, 14 Elektroden intracochleär	w	re	Hörsturz	intracochleäres Schwannom
4-1	Ertaubung nach Resektion eines Vestibularisschwannoms	w	li	postoperativ	Vestibularisschwannom
4-2	Ertaubung nach Resektion eines Vestibularisschwannoms	m	li	postoperativ	Vestibularisschwannom
4-3	Ertaubung nach Resektion eines Vestibularisschwannoms	w	re	postoperativ	Vestibularisschwannom
5-1	PTA <70dB Hörverlust auf der ertaubten Seite	w	re	M. Menière	
5-2	PTA <70dB Hörverlust auf der ertaubten Seite	w	re	M. Menière	
5-3	PTA <70dB Hörverlust auf der ertaubten Seite	w	li	Hörsturz	
5-4	PTA <70dB Hörverlust auf der ertaubten Seite	m	re	Hörsturz	
6-1	Facialisstimulation	m	li	traumatisch	Schädelhirntrauma

überraschend eine teilweise Fibrosierung der Cochlea, eine vollständige Insertion der Elektrode konnte dennoch erfolgen. Vier Patienten wurden aus der allgemeinen Betrachtung ausgeschlossen, da sie eine PTA <70 dB Hörverlust in der letzten präoperativen Messung auf der ertaubten Seiten hatten und damit die Kriterien des internationalen Konsensus für single-sided-deafness nicht erfüllten (Van de Heyning et al., 2016). Aus diesen Patienten wurde die Gruppe C gebildet,

die aus 22 Patienten besteht und in Untergruppen und Einzelfällen beschrieben wurde. In den Tabellen 2 und 3 findet sich eine Übersicht über den Grund für den Einschluss der 18 Patienten in Gruppe C. Den Patienten wurde eine Nummer zugewiesen. Die erste der beiden Nummern steht für den Einschlussgrund in Gruppe C, die zweite für den einzelnen Patienten in dieser Untergruppe. Der Patient 3-2 befindet sich beispielsweise in Untergruppe 3 (intracochleäres Schwannom) und ist der zweite von drei Patienten in dieser Untergruppe.

#### **2.3.4 Einschlusskriterien der beschriebenen Kinder**

Der internationale Konsensus (Van de Heyning et al., 2016) beschreibt Ein- und Ausschlusskriterien von Studien über die CI-Versorgung bei einseitig ertaubten Erwachsenen. Die geforderten Kriterien des PTA für das besser hörende Ohr ( $\leq 30$  dB Hörverlust) und das ertaubte Ohr ( $\geq 70$  dB Hörverlust) wurden auch auf die ausgewählten 11 Kinder angewendet. Kein Kind musste aufgrund der PTA-Kriterien ausgeschlossen werden.

Weitere Ausschlusskriterien wurden nicht angewendet, demnach wurden alle 11 Kinder in die Betrachtung eingeschlossen. Es erfolgte eine Einzelfallbeschreibung der eingeschlossenen Kinder.

## 2.4 Methoden

### 2.4.1 Audiologische Untersuchungen

#### 2.4.1.1 Aufbau und Durchführung der audiologischen Untersuchungen

Alle in dieser Studie dargestellten Untersuchungen wurden in der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde der Eberhard-Karls-Universität Tübingen durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten präoperativ sowie 3, 6, 12, 18 und 24 Monate nach der Erstanpassung des Sprachprozessors. Anschließend wurden die audiologischen Untersuchungen im Abstand von einem Jahr bei der jährlichen Kontrolle der Sprachprocessoranpassung im Rahmen der lebenslangen Nachsorge durchgeführt.

Alle Untersuchungen wurden in einem schallisolierten Raum durchgeführt. Verwendet wurde die in Tabelle 4 dargestellte Technik. Bei den Untersuchungen im Freifeld befand sich der Kopf des Patienten auf Höhe der Lautsprecher. Die Lautsprecher waren einen Meter vom Kopf des Patienten entfernt.

**Tabelle 4:** Audiometer, Kopfhörer und Lautsprecher der Audiometrie

Eingesetztes Gerät	Hersteller und Produkt	Untersuchung
Audiometer	Auritec AT900	Alle audiometrischen Untersuchungen
Luftleitungskopfhörer	Beyerdynamic DT 48	Reintonaudiometrie (Luftleitung)
Knochenleitungskopfhörer	Radioear B – 71	Reintonaudiometrie (Knochenleitung)
Lautsprecher	Auritec AT 966-1 (Baujahr 04/2002)	Freiburger Sprachtest, Oldenburger Satztest

Durchgeführt wurden die Untersuchungen im Rahmen der präoperativen Diagnostik und der postoperativen Rehabilitation sowie lebenslangen Nachsorge. Die Untersuchungen wurden durch audiologische Assistentinnen der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde oder durch CI-

Technikerinnen des HörZentrums durchgeführt. Dem Patienten wurde während der Messung keine Rückmeldung gegeben, ob seine angegebene Antwort korrekt war oder nicht.

#### **2.4.1.2 Reintonaudiometrie (RTA)**

Die Reintonaudiometrie ist eine der wichtigsten audiometrischen Untersuchungen. Als Stimulus wird ein pulsierender Ton in den Frequenzen 0,125; 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 6 und 8 Kilo Hertz angeboten. Zwei Messbedingungen werden unterschieden.

Wird der Ton über einen Kapselkopfhörer, der das Ohr umschließt, angeboten und gelangt durch Gehörgang und Mittelohr zur Cochlea, dann wird die Luftleitung gemessen. Die Knochenleitung wird untersucht, wenn ein Knochenleitungskopfhörer auf das Mastoid aufgesetzt wird und der Ton durch die Schwingung des Knochens zur Cochlea gelangt. Standardmäßig werden sowohl Luft- als auch Knochenleitungsmessung durchgeführt. In der vorliegenden Studie sind ausschließlich die Werte der Luftleitungsmessung wiedergegeben. Eine relevante Schalleitungskomponente lag bei keinem der eingeschlossenen Patienten vor.

Bei Patienten, die auf beiden Ohren unterschiedlich hören, besteht die Möglichkeit, dass der Patient den angebotenen Ton auf dem kontralateralen Ohr wahrnimmt. Dies ist bei der Messung der Knochenleitung ab einem Unterschied der PTA von etwa 10 dB zwischen den beiden Ohren möglich, bei der Messung der Luftleitung sind mindestens 50 dB Differenz der Reintonaudiogramme der beiden Ohren erforderlich. Um den beschriebenen Messfehler zu verhindern, wurde das nicht untersuchte Ohr in solchen Fällen mit einem frequenzadaptierten Rauschen vertäubt.

Für die vorliegenden Ergebnisse wurden die Messwerte manuell in 5 dB Schritten übertragen. Wenn kein Wert messbar war, dann wurde als Wert der maximale

Schalldruckpegel des Audiometers bei der angegebenen Frequenz eingetragen. Dieser lag für die Luftleitung bei 125 Hz bei 80 dB, bei 250 Hz bei 100 dB und bei 8 kHz bei 100 dB. Alle anderen angegebenen Frequenzen konnten bis 130 dB gemessen werden.

Der „pure-tone-average“ (PTA) der Reintonaudiogramme wurde als Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz berechnet.

Durch eine Reintonaudiometrie können sensorineurale Schwerhörigkeiten, Schallleitungsschwerhörigkeiten und kombinierte Schwerhörigkeiten diagnostiziert werden.

#### **2.4.1.3 Freiburger Sprachtest**

Der Freiburger Sprachtest ist ein weit verbreiteter Sprachtest im deutschsprachigen Raum. Entwickelt wurde er von Karl-Heinz Hahlbrock in den 1950er Jahren. Er ist nach DIN 45621 standardisiert. Der Freiburger Sprachtest wird in Einsilber und Mehrsilber unterteilt. Es wurden 20 Listen mit 50 Einsilbern entwickelt und untereinander ausbalanciert. Als Mehrsilber werden zweistellige Zahlen verwendet, hier liegen 10 Listen mit jeweils 10 mehrsilbigen Zahl-Wörtern vor. Beispiele für Einsilber sind „Band“ oder „Durst“, als Mehrsilber kommt z.B. die Zahl „Siebenundfünfzig“ vor. Ein zentrales Problem des Freiburger Sprachtests sind die großen Test-Retest-Signifikanzgrenzen. Erreicht ein Patient in einer Messung mit 20 Einsilbern eine Einsilberdiskrimination von 50%, dann ist eine Änderung erst signifikant ( $p < 0,05$ ), wenn sie mindestens 30% beträgt (Hoth, 2016).

In der vorliegenden Studie wurde das Sprachverständnis in Ruhe mit dem Freiburger Sprachtest gemessen. Die Messung erfolgte bei 65 und 80 dB SPL im Freifeld. Es wurden dem Patienten 20 Einsilber und 10 Mehrsilber bei den angegebenen Lautstärken vorgespielt. Die Antwort des Patienten erfolgte durch das Nachsprechen des gehörten Wortes. Erfasst wurde die Anzahl richtiger

Angaben in Prozent. Alle beschriebenen Messungen erfolgten einseitig. Das normalhörige Ohr wurde bei Messung des versorgten oder unversorgten SSD Ohres mit sprachadaptiertem Rauschen vertäuscht. Bei Messungen des normalhörigen Ohres wurde kontralateral der Sprachprozessor nicht getragen.

Sämtliche beidseitige Messungen sowie Messungen, bei denen ein Störgeräusch eingesetzt wurde, wurden aus mangelnder Vergleichbarkeit nicht mit aufgenommen. Bei Patienten, die kein Sprachverständnis entwickelten, wurden teilweise nur Messungen mit Mehrsilbern durchgeführt. Die fehlenden Messwerte mit Einsilbern wurden als 0 Prozent Sprachverständnis von Einsilbern analysiert, um eine Selektion des Patientenkollektivs zugunsten der besser hörenden Patienten zu vermeiden.

#### 2.4.1.4 Oldenburger Satztest

Das Sprachverständnis im Störgeräusch ist eine im Alltag sehr häufig auftretende Hörsituation. Es ist unter monauralen Hörbedingungen eingeschränkt (Persson et al., 2001; Wie et al., 2010). Das Sprachverständnis im Störgeräusch wurde in der vorliegenden Studie mit dem Oldenburger Satztest (OISa) gemessen. Der OISa ist der in Deutschland am weitesten verbreitete Satztest. In Tabelle 5 sind zwei Beispielsätze angegeben. Die verwendeten Sätze bestehen aus fünf Wörtern und werden zufällig aus insgesamt 50

**Tabelle 5:** Beispielsätze aus dem Oldenburger Satztest

Name	Verb	Zahlenwort	Adjektiv	Substantiv
Wolfgang	kauft	fünf	rote	Autos
Ullrich	gibt	zwölf	nasse	Dosen

**Tabelle 6:** Aufbau der Messbedingungen im Oldenburger Satztest.

Mess- bedingung	Beschreibung	Symbolbild
$S_0$ 50%	Die Schwelle, bei der 50% der angebotenen Sätze in Ruhe verstanden werden, wird bestimmt. Das Ergebnis wird in Dezibel angegeben.	<p>Sprache</p> <p>SSD Ohr</p>
$S_0N_0$ 50%	Störgeräusch und Sprache werden von vorne angeboten. Durch Veränderung der Satzlautstärke wird das Signal-Rausch-Verhältnis bestimmt, bei dem 50% der angebotenen Sätze verstanden werden. Das Ergebnis wird in Dezibel angegeben.	<p>Sprache</p> <p>Störgeräusch 65 dB</p> <p>SSD Ohr</p>
$S_0N_{NH}$ 50%	Die Sprache wird von vorne angeboten, das Störgeräusch von der normalhörigen Seite. Durch Veränderung der Satzlautstärke wird das Signal-Rausch-Verhältnis bestimmt, bei dem 50% der angebotenen Sätze verstanden werden. Das Ergebnis wird in Dezibel angegeben.	<p>Sprache</p> <p>Störgeräusch 65 dB</p> <p>SSD Ohr</p>
$S_0N_{SSD}$ 50%	Die Sprache wird von vorne angeboten, das Störgeräusch von der ertaubten Seite. Durch Veränderung der Satzlautstärke wird das Signal-Rausch-Verhältnis bestimmt, bei dem 50% der angebotenen Sätze verstanden werden. Das Ergebnis wird in Dezibel angegeben.	<p>Sprache</p> <p>Störgeräusch 65 dB</p> <p>SSD Ohr</p>

Wörtern kombiniert. Pro Spalte gibt es 10 unterschiedliche Wörter. Die zufällige Kombination der Wörter und sich somit ergebende Sinnfreiheit der Sätze erschwert das Erraten von nicht verstandenen Wörtern. Als Störgeräusch wird sprachsimulierendes Rauschen verwendet (Kollmeier et al., 1997).

Der Oldenburger Satztest wurde in verschiedenen Messbedingungen durchgeführt (vgl. Tab. 6), die immer in derselben Reihenfolge angeordnet waren. Zu Beginn wurde das Sprachverständnis in Ruhe in Prozent erfasst. Die Sätze wurden mit 65 dB SPL angeboten. Diese Messung erfolgte, damit der Patient mit der Untersuchung vertraut wird. Anschließend erfolgte die Messung der fünfzigprozentigen Sprachverständnisschwelle in Ruhe in dB ( $S_0$ ).

Die Messung des Sprachverständnisses im Störgeräusch erfasst das Signal-Rausch-Verhältnis in dB, bei dem 50% der Sätze verstanden werden. Eine Übungsmessung mit Sprache und Störgeräusch von vorne wurde durchgeführt. Hier müssen 80% der Sätze verstanden werden.

Anschließend erfolgte die Messung des fünfzigprozentigen Sprachverständnisses im Störgeräusch in den Messbedingungen  $S_0N_0$  (Sprache und Störgeräusch von vorne),  $S_0N_{90}$  (Sprache von vorne, Störgeräusch von rechts) und  $S_0N_{270}$  (Sprache von vorne, Störgeräusch von links). Um die Werte vergleichen zu können, wurden die Werte der Messungen in  $S_0N_{90}$  und  $S_0N_{270}$  nach Ertaubungsseite des Patienten in  $S_0N_{NH}$  und  $S_0N_{SSD}$  umgestellt. Dabei steht NH für normalhöriges Ohr und SSD (single-sided-deafness) für ertaubtes Ohr. Wenn in dieser Arbeit von  $S_0N_0$ ,  $S_0N_{NH}$  und  $S_0N_{SSD}$  gesprochen wird, dann ist der Signal-Rausch-Abstand gemeint, bei dem 50% der Sätze verstanden wurden.

Aus den erfassten Werten kann der „squelch effect“ in Dezibel errechnet werden, indem der Signal-Rausch-Abstand im versorgten Zustand in  $S_0N_{SSD}$  vom Signal-Rausch-Abstand im unversorgten Zustand in  $S_0N_{SSD}$  subtrahiert wird. ( $SRV_{unversorgt\ S_0N_{SSD}} - SRV_{versorgt\ S_0N_{SSD}}$ ).

Der Summations-Effekt kann bestimmt werden, wenn von dem unversorgten  $S_0N_0$  der versorgte  $S_0N_0$  Wert abgezogen wird.

Der „spatial release from masking“ Effekt (SRM) kann durch: versorgt  $S_{0N_0}$  - versorgt  $S_{0N_{SSD}}$  berechnet werden.

Der „head shadow effect“ (Kopfschatteneffekt) kann mit dem in dieser Studie vorliegenden OISa Aufbau nicht berechnet werden. Er ergibt sich, wenn der versorgte vom unversorgten Wert in der Messbedingung  $S_{SSD N_{NH}}$  subtrahiert wird.

Bei den genannten Berechnungen repräsentieren positive Werte eine Steigerung der Diskriminationsfähigkeit durch den zugrundeliegenden Effekt (Van de Heyning et al., 2016).

#### **2.4.1.5 Mainzer Kindersprachtest**

Der Mainzer Kindersprachtest wurde von Biesalski 1974 entwickelt. Er besteht aus drei Teilen. Teil I besteht aus 10 Wörtern, die in unterschiedlicher Reihenfolge zu 5 Listen kombiniert sind. Er wird für Kinder im Alter von etwa 4 Jahren eingesetzt. Die 5 Listen mit jeweils 10 Wörtern von Teil II werden aus insgesamt 25 Wörtern zusammengesetzt. Sie werden bei etwa sechsjährigen Kindern verwendet. In Teil III, der ab dem Alter von etwa 8 Jahren eingesetzt wird, kommen 50 unterschiedliche Wörter vor. Ein Beispielwort, das in allen drei Listen vorkommt, ist „Mama“. Die Antwort erfolgt akustisch oder durch Zeigen eines Symbols auf zugehörigen Karten.

Kindersprachtests sind von der Mitarbeit und Konzentration des Kindes abhängig.

#### **2.4.1.6 Göttinger Kindersprachtest**

Der Göttinger Kindersprachtest wurde von Chilla 1976 entwickelt. Er wird in Teil I und Teil II gegliedert. Die Antwort erfolgt über Bildkarten. Teil I wird im Alter von 3 bis 4 Jahren eingesetzt und besteht aus insgesamt 20 Wörtern. Zwischen 5 und 6 Jahren wird Teil II eingesetzt, der aus 100 verschiedenen Wörtern besteht.

#### **2.4.2 Fragebögen**

Im Rahmen der Nachsorge absolvierten die Patienten zwei Fragebögen (Allgemeine Depressionsskala (ADS) und Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire (NCIQ)) in denselben Intervallen, in denen auch die Hörtests durchgeführt wurden (3, 6, 12 und 24 Monate nach Erstanpassung und anschließend einmal jährlich). Einige Patienten wurden auch präoperativ gemessen. Patienten, die Schwindel angaben, füllten zusätzlich den Dizziness Handicap Inventory (DHI) aus, Patienten mit Tinnitus den Tinnitus Fragebogen nach Goebel und Hiller. Die Fragebögen wurden an einem Laptop in einer Excel-Maske ausgefüllt. Patienten, die nicht in der Lage waren die Fragebögen am Laptop auszufüllen, erhielten eine ausgedruckte Version, die anschließend von den Mitarbeitern im Hörzentrum digital erfasst wurde. Die Auswertung der Fragebögen erfolgte durch eine automatische Berechnung nach der Eingabe in Excel.

##### **2.4.2.1 Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire (NCIQ)**

Der NCIQ Fragebogen wurde in den Niederlanden von Hinderink et al. entwickelt. Er ermöglicht eine Bestimmung der Lebensqualität von ertaubten Patienten und CI-Trägern. Der NCIQ wird in die Kategorien physische Fähigkeiten, psychische Fähigkeiten und soziale Fähigkeiten unterteilt. In Tabelle 7 sind die Kategorien näher beschrieben.

Der NCIQ besteht aus 60 Fragen, von denen jeweils 10 einer der Unterkategorien zugeordnet sind. Bei 55 Fragen gibt es die Antwortmöglichkeiten „nie“, „selten“, „manchmal“, „oft“ und „immer“. Die restlichen fünf Fragen werden mit „nein“, „schlecht“, „einigermaßen“, „gut“ und „sehr gut“ beantwortet. Die Antwortkategorie „keine Antwort“ kann maximal dreimal gewählt werden. Die Auswertung wird anhand einer Beispielfrage erklärt.

**Tabelle 7:** Unterkategorien des Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire (NCIQ). Die Tabelle beschreibt den Inhalt der einzelnen Kategorien und Unterkategorien des NCIQ.

Unterkategorie	Beschreibung
<b>Physische Fähigkeiten</b>	
Grundlegende Schallwahrnehmung	Hintergrundgeräusche, Telefon- und Türklingeln, Verkehrsgeräusche wahrnehmen, Schritte hören
Erweiterte Schallwahrnehmung	Gespräche in Ruhe / im Störgeräusch / in Gruppen führen, telefonieren, Musik genießen, Rhythmus wahrnehmen, Höranstrengung, Sprecher erkennen
Sprachproduktion	Modulation der Stimme: hoch / tief und laut / leise, Stimmung ausdrücken, Natürlichkeit der Sprache
<b>Psychische Fähigkeiten</b>	
Selbsteinschätzung	Selbsteinschätzung der Kommunikationsfähigkeit, Akzeptanz der Ertaubung, Vermeidungsverhalten, Selbstbewusstsein
<b>Soziale Fähigkeiten</b>	
Aktivität	Arbeit und Freizeit, Hobbys, Verkehr, Fernsehen, Partys, Ausgehen
Soziale Interaktion	Kommunikation mit LebenspartnerIn, Freunden, Familienmitgliedern, tauben und hörenden Personen, Gruppenkontakte knüpfen

Die Antworten werden zur Auswertung in Zahlen umgewandelt. Der bestmöglichen Antwort wird der Wert 100 zugeordnet. In Schritten über 75, 50 und 25 gelangt man zum Wert 0. Der Wert 0 ist der Antwort zugeordnet, die die schlechteste der möglichen Antworten ist. In der in Tabelle 8 dargestellten Frage ist das „immer“.

**Tabelle 8:** Beispielfrage und Auswertung des Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire.

Ist Ihre Hörbeeinträchtigung ein schwerwiegendes Problem auf Partys (z.B. Geburtstag)?					
Antwortmöglichkeiten	nie	selten	manchmal	oft	immer
Antwortkategorien	100	75	50	25	0

Der Gesamtwert einer Unterkategorie wird bestimmt, indem die zugeordneten Zahlenwerte addiert werden und durch die Anzahl an beantworteten Fragen geteilt werden. Der erreichte Wert kann zwischen 0 und 100 liegen, wobei 100 das bestmögliche Ergebnis ist (Hinderink et al., 2000).

#### 2.4.2.2 Allgemeine Depressionsskala (ADS)

In der vorliegenden Studie wurde die ADS zum Screening nach einer depressiven Symptomatik eingesetzt. Die ADS beruht auf der „Center for Epidemiological Studies – Depression Scale“ (CES–D), die von Radloff 1977 entwickelt wurde. In deutscher Sprache gibt es eine aus 20 Fragen bestehende Langform sowie eine aus 15 Fragen bestehende Kurzform. Verwendet wurde die aus 15 Fragen bestehende Kurzform. Für jede Frage gibt es die Antwortmöglichkeiten „selten oder überhaupt nicht (weniger als 1 Tag)“, „manchmal (1 - 2 Tage)“, „öfter (3 - 4 Tage)“ und „meistens, die ganze Zeit (5 - 7 Tage)“. Insgesamt 13 der 15 Fragen sind negativ formuliert, 2 sind positiv formuliert. Die Auswertung wird anhand von 2 Beispielfragen erklärt.

Die Antworten werden in Zahlenwerte umgewandelt. Beispielfrage 1 ist negativ formuliert, im Gegensatz ist Frage 2 positiv formuliert. Für seltenes Auftreten des beschriebenen Zustands wird ein Wert von 0 vergeben. Ist der Patient fast immer „deprimiert / niedergeschlagen“, erhält er einen Wert von 3. Für die Zwischenstufen werden die Werte 1 und 2 vergeben. Die erhaltenen Zahlenwerte aller 15 Fragen werden addiert. In der ADS Kurzform sind also Werte zwischen 0 und 45 erreichbar. Werte zwischen 0 und 17 gelten als unauffällig. Das Ergebnis der ADS gilt als auffällig, wenn der Patient einen Wert über 17 erreicht (Hautzinger et al., 2012).

**Tabelle 9:** Beispielfrage und Auswertung der Allgemeinen Depressionskala.

Beispielfrage 1: Während der letzten Woche war ich deprimiert / niedergeschlagen.				
Antwortmöglichkeiten	Selten oder überhaupt nicht	Manchmal	Öfter	Meistens, die ganze Zeit
Antwortkategorien	0	1	2	3
Beispielfrage 2: Während der letzten Woche war ich fröhlich gestimmt.				
Antwortmöglichkeiten	Selten oder überhaupt nicht	Manchmal	Öfter	Meistens, die ganze Zeit
Antwortkategorien	3	2	1	0

#### 2.4.2.3 Dizziness Handicap Inventory (DHI)

Der Dizziness Handicap Inventory ist ein Fragebogen, der bei Schwindel oder Gleichgewichtsstörungen eingesetzt wird. Die deutsche Version wurde von Kurre et al. erstellt. Er besteht aus 25 Fragen, die mit den Antwortmöglichkeiten „ja“, „manchmal“, „nein“ und „keine Antwort“ beantwortet werden können. In Tabelle 10 wurde die Umwandlung in Zahlenwerte dargestellt. Die erhaltenen Werte werden addiert. Maximal kann ein Gesamtwert von 100 erreicht werden. Die Fragen sind drei Gruppen zugeordnet. Sieben Fragen werden als physische

**Tabelle 10:** Beispielfrage und Auswertung des Dizziness Handicap Inventory.

Verstärken sich Ihre Probleme, wenn Sie sich nach vorne beugen?				
Antwortmöglichkeiten	ja	manchmal	nein	keine Antwort
Antwortkategorien	4	2	0	0

Beeinträchtigung zusammengefasst, womit der maximale Absolutwert bei 28 liegt. Die Gruppen Funktionsstörung und emotionale Betroffenheit bestehen aus jeweils 9 Fragen. In diesen beiden Gruppen kann als Absolutwert 36 erreicht werden (Kurre et al., 2009).

#### 2.4.2.4 Tinnitus-Fragebogen nach Goebel und Hiller

Der Tinnitus Fragebogen nach Goebel und Hiller ist im deutschen Sprachraum der gebräuchlichste Tinnitus-Fragebogen. Entwickelt wurde der Fragebogen von Hallam, Jakes und Hinchcliffe (Hallam et al., 1988). Goebel und Hiller übersetzten den Fragebogen in die deutsche Sprache und validierten ihn. Der Tinnitus-Fragebogen besteht aus 52 Fragen, von denen 42 gewichtet ausgewertet werden. Hohe Werte sprechen für eine starke Belastung. Der maximal erreichbare Wert liegt bei 84 (Goebel et al., 1994).

**Tabelle 11:** Beispielfrage und Auswertung des Tinnitus Fragebogens nach Goebel und Hiller.

Es gibt nur ganz wenig, was man tun kann, um mit den Ohrgeräuschen fertig zu werden.			
Antwortmöglichkeiten	stimmt	stimmt teilweise	stimmt nicht
Kategorien	2	1	0

Die Fragen sind sechs verschiedenen Kategorien zugeordnet, die in Tabelle 12 beschrieben sind.

**Tabelle 12:** Kategorien des Tinnitus Fragebogens nach Goebel und Hiller. Dargestellt werden die Kategorien, die Anzahl an Fragen pro Kategorie und der maximal erreichbare Score pro Kategorie.

Kategorie	Anzahl Fragen	Maximalwert
Emotionale Belastung (E)	12	24
Kognitive Belastung (C)	8	16
Psychische Belastung (E+C)	20	40
Penetranz des Tinnitus (I)	8	16
Hörprobleme (A)	7	14
Schlafstörungen (SI)	4	8
Somatische Beschwerden (So)	3	6
<b>Gesamt</b>	<b>42</b>	<b>84</b>

## **2.5. Datenerfassung und Analyse**

### **2.5.1 Erfassung und Eingabe der Daten in eine Access Datenbank**

Die beschriebenen Daten wurden in einer Microsoft®-Access-Datenbank erfasst, die für das HörZentrum Tübingen erstellt wurde (Dofek, 2019). In der Access-Datenbank sind in Tabellen die erfassten Ergebnisse einzelner Untersuchungen über die Patientennummer verknüpft.

Die Eingabe der Daten erfolgte manuell. Als Quelle standen das Patientenverwaltungssystem SAP, die Audiologie-Datenbank Avantgarde 4 (Version 4.0.1.60) und die eingescannten Patientenakten zur Verfügung. Die Eingabe der beschriebenen Patientendaten fand ab März 2017 statt. Als Endpunkt der Dateneingabe wurde der 30.06.2017 festgelegt. Später erhobene Messungen sind in den beschriebenen Daten nicht mehr eingeschlossen.

### **2.5.2 Statistische Bearbeitung und Analyse der Daten**

Zur Bearbeitung und Analyse wurden die erhobenen Daten aus Microsoft Access in Microsoft® Office Excel 2010 exportiert. Dort erfolgte die Selektion der Daten nach verschiedenen Merkmalen. Zum Beispiel wurden alle Freiburger Sprachtests der ertaubten Seite selektiert und in Nachsorgeintervalle eingeteilt. Ein geringer Teil der Grafiken sowie alle Tabellen wurden mit Microsoft Excel erstellt.

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit SAS jmp® (Version 13.0.0). Die Daten wurden von Microsoft® Office Excel 2010 nach SAS jmp® exportiert. Der Großteil der Grafiken dieser Arbeit wurde mit SAS jmp® erstellt.

Die zu analysierenden Daten wurden auf Normalverteilung geprüft. Lag die Schiefe und die Wölbung unter 1, dann wurde von einer Normalverteilung ausgegangen. Sowohl abhängige als auch unabhängige Messungen wurden bei

Normalverteilung mit dem Student-t-Test analysiert. Bei nicht normalverteilten Daten wurde der Wilcoxon-Vorzeichenrangtest (abhängige Daten) oder der Mann-Whitney-U-Test (unabhängige Daten) verwendet. Als Signifikanzniveau wurde 0,05 festgelegt. Berechnungen der Regression und Korrelation (Spearman's  $\rho$ ) wurden ebenfalls mit SAS jmp® durchgeführt.

Bei dieser Arbeit wurde die methodische Beratung des Instituts für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen in Anspruch genommen.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Erwachsene Patienten

##### 3.1.1 Beschreibung des Patientenkollektivs

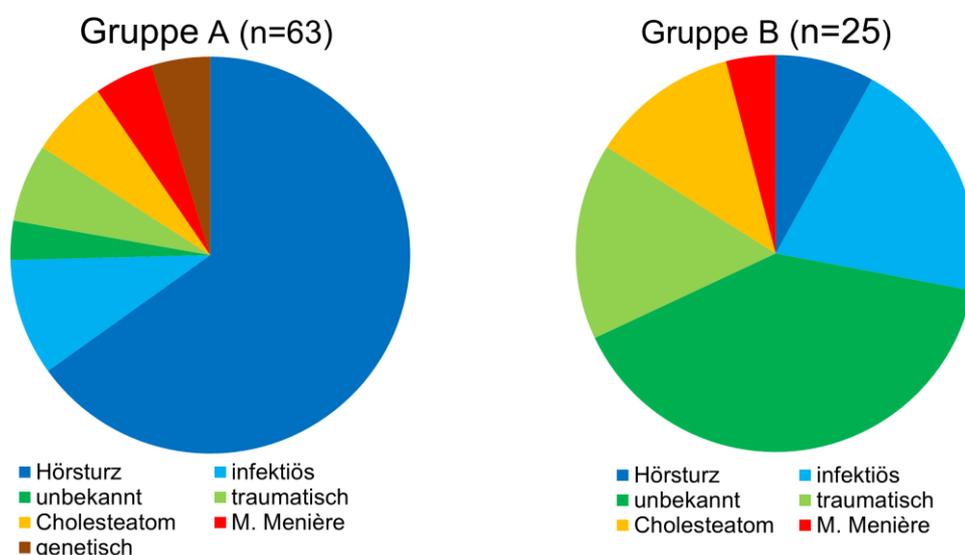
Die betrachteten Erwachsenen wurden in drei Gruppen eingeteilt. Gruppe A (n=63) erfüllte alle Kriterien des internationalen Konsensus.

**Tabelle 13:** Beschreibung der Gruppe A (erfüllte die Kriterien des internationalen Konsensus) und Gruppe B (erfüllte das Kriterium Ertaubungsdauer >15 Jahre nicht). Median, minimaler (Min) und maximaler (Max) Wert wurde angegeben, da die Werte nicht normalverteilt waren. In Abb. 8-11 wurden Alter bei OP, Alter bei Ertaubung und Ertaubungsdauer grafisch dargestellt. Die Werte unterschieden sich in beiden Gruppen unter anderem aufgrund der Ausschlusskriterien. Der PTA (pure tone average, Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz) des normalhörigen (NH) und ertaubten (SSD) Ohres wurde in Abb. 12 und 14 genauer dargestellt.

	Gruppe A (n=63)	Gruppe B (n=25)
<b>Geschlecht</b>	31 weiblich (49,2%); 32 männlich (50,8%)	8 weiblich (32,0%); 17 männlich (68,0%)
<b>Ertaubungsseite</b>	29 rechts (46,0%); 34 links (54,0%)	13 rechts (52,0%); 12 links (48,0%)
<b>Hersteller CI</b>	3 Advanced Bionics (4,8%); 24 Cochlear (38,1%); 36 MED-EL (57,1%)	1 Advanced Bionics (4,0%); 6 Cochlear 24,0%; 18 MED-EL (72,0%)
<b>Alter bei OP (Jahre)</b>	Median 51,9; Min 19; Max 78,2	Median 44,7; Min 23,5; Max 74,1
<b>Alter bei Ertaubung (Jahre)</b>	Median 49,9; Min 18,2; Max 77,8	Median 8,0; Min 0; Max 46,2
<b>Ertaubungsdauer (Jahre)</b>	Median 1,3; Min 0,1; Max 13,4	Median 28,3; Min 15,4; Max 53,3
<b>OP-Datum</b>	20.01.2010-14.12.2016	19.01.2012-13.09.2016
<b>PTA NH Ohr (dB) vor OP</b>	Median 10, Min 3,75; Max 30,0	Median 13,75, Min 3,75; Max 30
<b>PTA SSD Ohr (dB) vor OP</b>	Median 96,88, Min 70,0; Max 130	Median 117,5, Min 70,0; Max 130

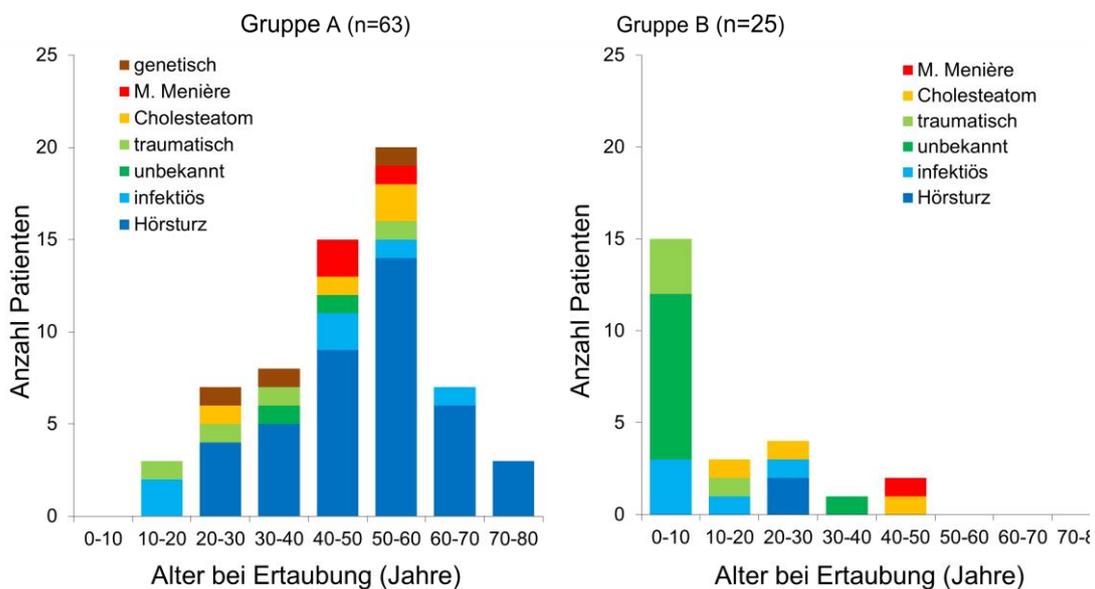
Gruppe A wurde mit Gruppe B (n = 25) verglichen. Die Patienten in Gruppe B lagen vollständig außerhalb des Standards des internationalen Konsensus, da sie eine Ertaubungsdauer über 15 Jahre aufwiesen und darüberhinaus teilweise (n = 9) nicht postlingual ertaubt waren.

In Tabelle 13 wurden Gruppe A und Gruppe B verglichen. Geschlecht und Ertaubungsseite waren in Gruppe A gleichmäßig verteilt. In Gruppe B waren 68% der Patienten männlich und 32% weiblich. Das mediane Alter bei OP lag in Gruppe A bei 51,9 Jahren und in Gruppe B bei 44,7 Jahren. Das Alter bei Ertaubung lag im Median bei 49,9 Jahren in Gruppe A und bei 8 Jahren in Gruppe B. Die Unterschiede des Alters bei OP und bei Ertaubung sowie der Ertaubungsdauer in Gruppe A und B ließ sich generell durch die Einteilung anhand der Ertaubungsdauer unter 15 Jahren (Gruppe A) und über 15 Jahren (Gruppe B) erklären. Der mediane PTA des normalhörigen Ohres war in beiden Gruppen vergleichbar. Der PTA der SSD Seite lag in Gruppe B deutlich größer (117,5 dB HV) als in Gruppe A (96,9 dB HV). Die genannten Werte sind in Abbildungen 8-11 genauer dargestellt.



**Abbildung 8:** Verteilung der Ertaubungsursache in Gruppe A (links, nach internationalem Konsensus) und Gruppe B (rechts, mit einer Ertaubungsdauer über 15 Jahre). In Gruppe A war Hörsturz die dominierende Ertaubungsursache, in Gruppe B war die Ertaubungsursache am häufigsten unbekannt.

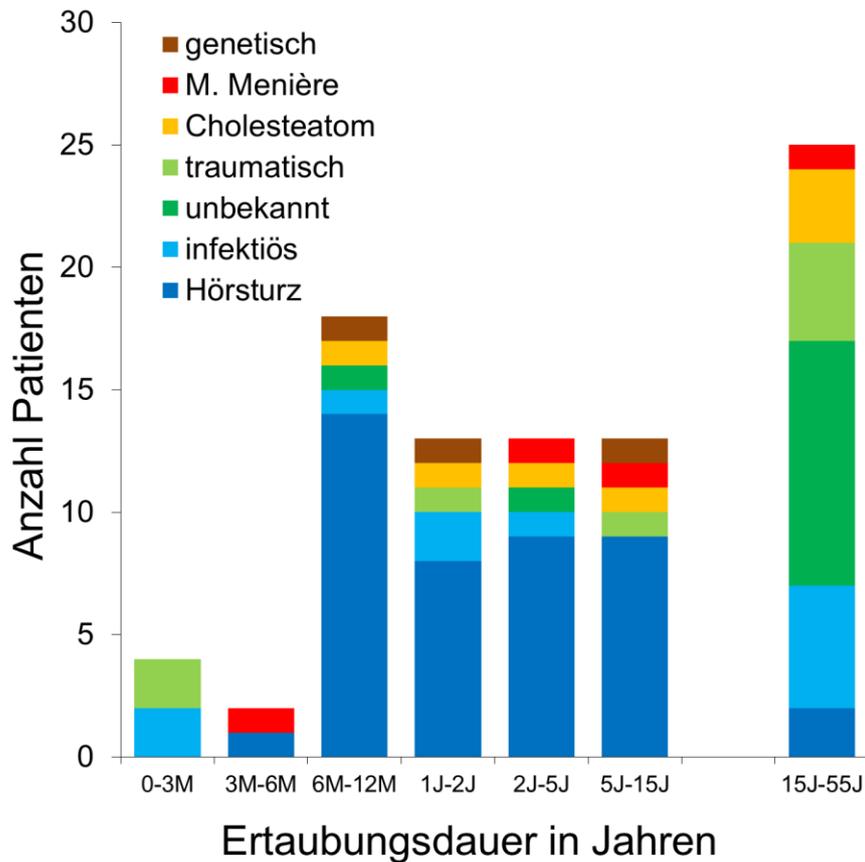
In Abbildung 8 ist die Verteilung der Ertaubungsursache in Gruppe A und B dargestellt. In Gruppe A war ein Hörsturz die mit Abstand häufigste Ertaubungsursache (64%). Außerdem kamen in Gruppe A Infektion (9%), Trauma (6%), Cholesteatom (6%), Morbus Menière (8%), Genetik (5%) und unbekannt (2%) als Ertaubungsursache vor. In Gruppe B war die Ertaubungsursache in 40% der Fälle unbekannt. Eine Infektion (20%) und ein Trauma (16%) waren als Ertaubungsursache häufiger als in Gruppe A. In Gruppe B fanden sich 2 Patienten, die durch einen Hörsturz ertaubt sind (8%). 12 % der Patienten in Gruppe B ertaubten durch ein Cholesteatom und ein Patient (4%) ertaubte durch einen Morbus Menière.



**Abbildung 9:** Verteilung des Alters bei Ertaubung in Zeiträumen von 10 Jahren in Gruppe A (links) und Gruppe B (rechts). Die Ertaubungsursache wurde farblich wie in Abb. 8. dargestellt. Alle Patienten, die im Alter von unter 3 Jahren ertaubt sind, fallen aufgrund der Ertaubungsdauer (über 15 Jahre bei einer OP mit im Alter von mindestens 18 Jahren) in Gruppe B.

Die Anzahl an Patienten und deren Ertaubungsursache ist in Abbildung 9 gegen das Alter bei Ertaubung in Zeiträumen von 10 Jahren aufgetragen. Es ist ersichtlich, dass in Gruppe A die meisten Patienten im Alter von 40 bis 60 Jahren ertaubt sind. Die traumatische Ertaubung kam sowohl in Gruppe A als auch in Gruppe B eher in jüngerem Alter vor. Alle Patienten mit Morbus Menière (n = 3) waren bei ihrer Ertaubung zwischen 40 und 60 Jahre alt. Ansonsten fiel in Gruppe A keine gewichtete Verteilung auf. Die Patienten aus Gruppe B ertaubten zu 60%

im Alter von 0 bis 10 Jahren. Hier waren die 9 möglicherweise kongenital ertaubten Patienten mit eingeschlossen.

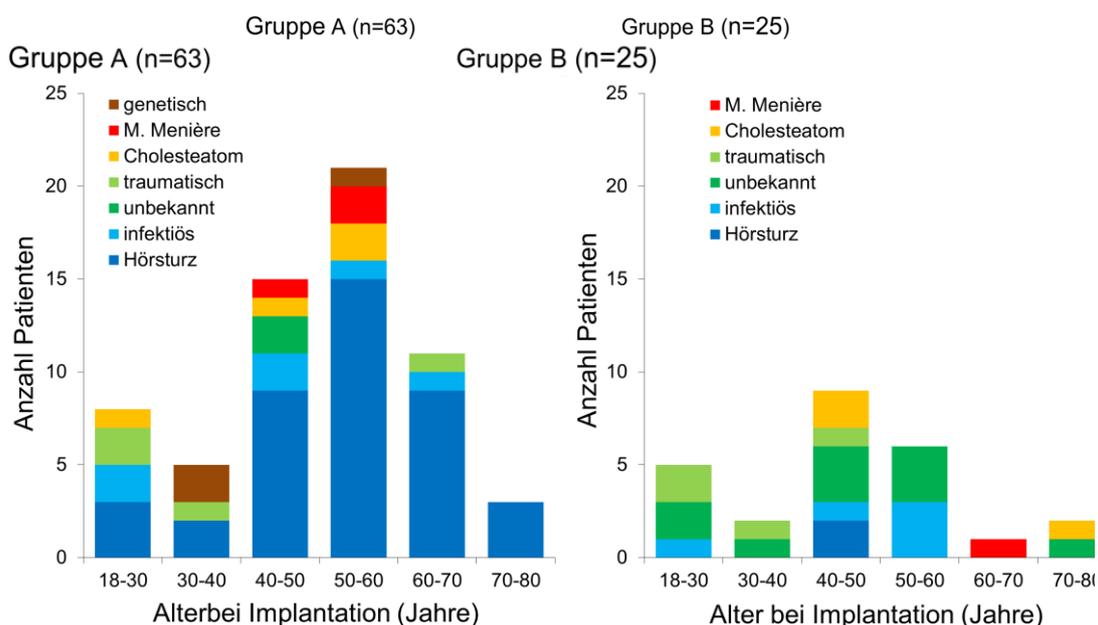


**Abbildung 10:** Verteilung der Ertaubungsdauer in Gruppe A (links) und Gruppe B (rechte Säule). Die Ertaubungsursache wurde farblich wie in Abb. 8. dargestellt. Die Ertaubungsdauer wurde nach Monaten (M) in den linken drei Säulen und nach Jahren (J) in den rechten vier Säulen unterteilt. In Gruppe A kamen keine Patienten mit einer Ertaubungsdauer über 15 Jahren vor (Ausschlusskriterium).

Abbildung 10 zeigt die Verteilung der Anzahl an Patienten und ihre Ertaubungsursache über sechs Zeiträume der Ertaubungsdauer in Gruppe A. Bei vier Patienten - je zwei durch Trauma (Schädelhirntrauma) und Infektion (Meningitis) ertaubt - aus Gruppe A lag die Ertaubungsursache unter 3 Monaten. Die Implantation erfolgte frühzeitig um einer Fibrosierung der Cochlea zuvor zu kommen. Eine Ertaubungsdauer zwischen 3 und 6 Monaten wiesen nur zwei Patienten (3%) auf. 6 bis 12 Monaten waren 18 Patienten (28,6%) der Patienten aus Gruppe A ertaubt. Je 13 Patienten (21%) waren zwischen ein und zwei

Jahren, 2 und 5 Jahren beziehungsweise 5 und 15 Jahren ertaubt. Die Zeiträume wurden grob exponentiell gewählt, so dass sich ab dem Zeitraum 6-12 Monate etwa gleichviel Fälle pro Zeitraum finden. Gruppe B, in der die Ertaubungsdauer zwischen 15,4 und 53,3 Jahren lag (Median 28,3 Jahre), wurde zum Vergleich in der rechten Säule dargestellt.

Das Alter in Jahren bei der CI-Implantation ist in Abbildung 11 für Gruppe A und Gruppe B dargestellt. Die Anzahl implantierter Patienten und deren Ertaubungsursache wurde gegen das Alter bei Implantation, das in sechs Zeiträume gegliedert wurde, aufgetragen. In Gruppe A lag das Alter von 50 Patienten (79%) bei Implantation zwischen 40 und 70 Jahren. Das ließ sich auch aus dem Schwerpunkt des Ertaubungszeitpunkts zwischen 40 und 60 Jahren und der kurzen Ertaubungsdauer in Gruppe A erschließen. In Gruppe B wurden am meisten Patienten (9, 36%) im Alter von 40 bis 50 Jahren implantiert. Das Alter bei Implantation war nicht höher als in Gruppe A. Die Patienten in Gruppe B waren im Vergleich zu Gruppe A deutlich früher ertaubt (vgl. Abb. 9.).



**Abbildung 11:** Verteilung des Alters bei Implantation (bei OP) in Zeiträumen von 10 Jahren (12 Jahre im Zeitraum 18-30) in Gruppe A (links) und Gruppe B (rechts). Die Ertaubungsursache wurde farblich wie in Abb. 8 dargestellt

In Tabelle 14 findet sich eine Übersicht über die Patienten aus Gruppe C. Geschlecht und Ertaubungsseite waren in Gruppe C gleichmäßig verteilt. In den

kleinen Untergruppen gab es Unterschiede. Zum Beispiel waren alle Patienten mit einem intracochleärem Schwannom (Untergruppe 3) weiblich und rechtsseitig ertaubt. Die Ertaubungsursache in Untergruppe 1 (keine ausreichenden Deutschkenntnisse) war nicht auffällig verteilt. In den anderen Untergruppen ließ sich ein Bezug zwischen Ertaubungsursache und Einschlussgrund für Gruppe C feststellen (vgl. Tab. 14). Alle Patienten mit

**Tabelle 14:** Beschreibung der Gruppe C. Dargestellt wurden Patientennummer (Pat.-Nr.), Geschlecht (G.), Ertaubungsseite (S.), Ertaubungsursache, Alter bei Operation in Jahren, Ertaubungsdauer in Jahren, Monate nach Operation (post OP), PTA (pure tone average, Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz) des normalhörenden (NH) und des ertaubten (SSD) Ohrs in dB Hörverlust (dB HV) und der Hersteller des Cochlea-Implantats (CI). Von Patient 6-1 lagen keine präoperativen Hörtest vor (nicht vorliegend (nv), extern implantiert).

Pat.-Nr.	G.	S.	Ertaubungs-ursache	Alter bei OP Jahre	ED Jahre	Monate post OP	PTA NH dB HV	PTA SSD dB HV	Hersteller CI
1-1	m	re	Cholesteatom	21,5	13,2	26	5	87,5	MED-EL
1-2	m	li	genetisch	50,8	3,8	29	28,75	76,25	Cochlear
1-3	w	li	infektiös	47,3	26,1	20	31,25	97,5	MED-EL
1-4	m	re	Otosklerose	53,7	0,8	15	25	123,75	Cochlear
1-5	w	li	traumatisch	27,9	12,5	27	5	103,75	MED-EL
1-6	m	li	traumatisch	40,7	1,0	91	13,75	116,25	MED-EL
1-7	w	re	unbekannt	52,0	8,5	34	25	123,75	MED-EL
2-1	m	li	Hörsturz	54,0	1,8	41	25	81,25	MED-EL
2-2	w	li	infektiös	18,7	14,4	22	2,5	103,75	MED-EL
2-3	w	re	infektiös	24,9	0,4	19	3,75	130	Cochlear
2-4	m	re	infektiös	55,0	0,2	10	15	130	Cochlear
3-1	w	re	Hörsturz	56,5	2,1	39	22,5	123,75	Cochlear
3-2	w	re	Hörsturz	61,5	5,8	18	8,75	91,25	MED-EL
3-3	w	re	Hörsturz	56,0	0,7	11	10	87,5	Cochlear
4-1	w	li	postoperativ	52,2	2,5	49	2,5	130	Cochlear
4-2	m	li	postoperativ	45,5	2,0	46	10	130	Cochlear
4-3	w	re	postoperativ	55,6	1,4	58	13,75	65	Cochlear
5-1	w	re	M. Menière	55,7	1,0	14	10	63,75	MED-EL
5-2	w	re	M. Menière	50,6	1,9	52	10	66,25	Cochlear
5-3	w	li	Hörsturz	62,5	0,8	55	15	66,25	MED-EL
5-4	M	re	Hörsturz	68,3	1,1	30	30	63,75	MED-EL
6-1	m	li	traumatisch	29,5	0,1	95	nv	nv	MED-EL

intracochleärem Schwannom ertaubten durch einen Hörsturz (Untergruppe 3), die drei Patienten mit Vestibularisschwannom (Untergruppe 4) ertaubten postoperativ und drei der vier Patienten mit Fibrosierung der Cochlea

(Untergruppe 2) durch eine Infektion. Das mediane Alter der Patienten in Gruppe C lag bei 52,1 Jahren und die mediane Ertaubungsdauer bei 1,9 Jahren. Die Werte lagen näher an Gruppe A als an Gruppe B. 12 der Patienten wurden mit einem CI der Herstellerfirma MED-EL versorgt und 10 Patienten mit einem CI der Firma Cochlear.

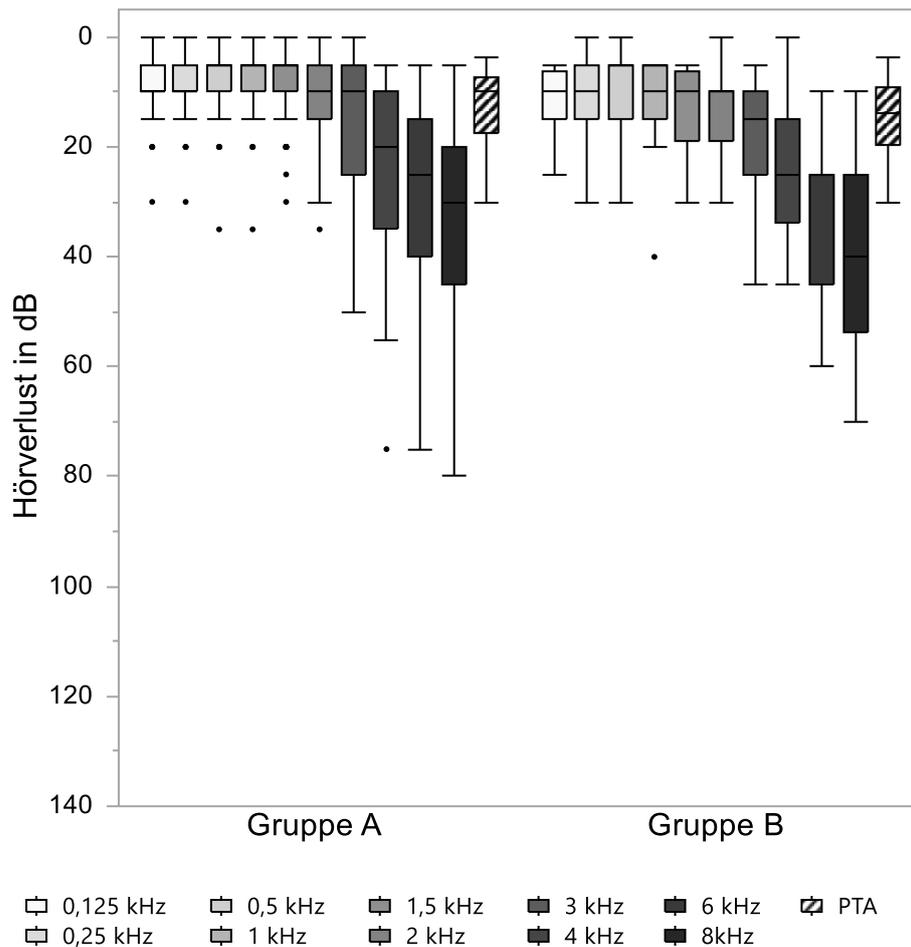
### **3.1.2 Reintonaudiometrie**

Von allen Patienten aus Gruppe A ( $n = 63$ ) lag eine präoperative Reintonaudiometrie des normalhörigen Ohrs vor. In Gruppe B lag von 24 der 25 Patienten eine präoperative Reintonaudiometrie beider Ohren vor (eine extern implantierte Patientin). In Gruppe C lagen von 21 der 22 Patienten präoperative Messwerte vor, auch hier wurde ein Patient extern implantiert.

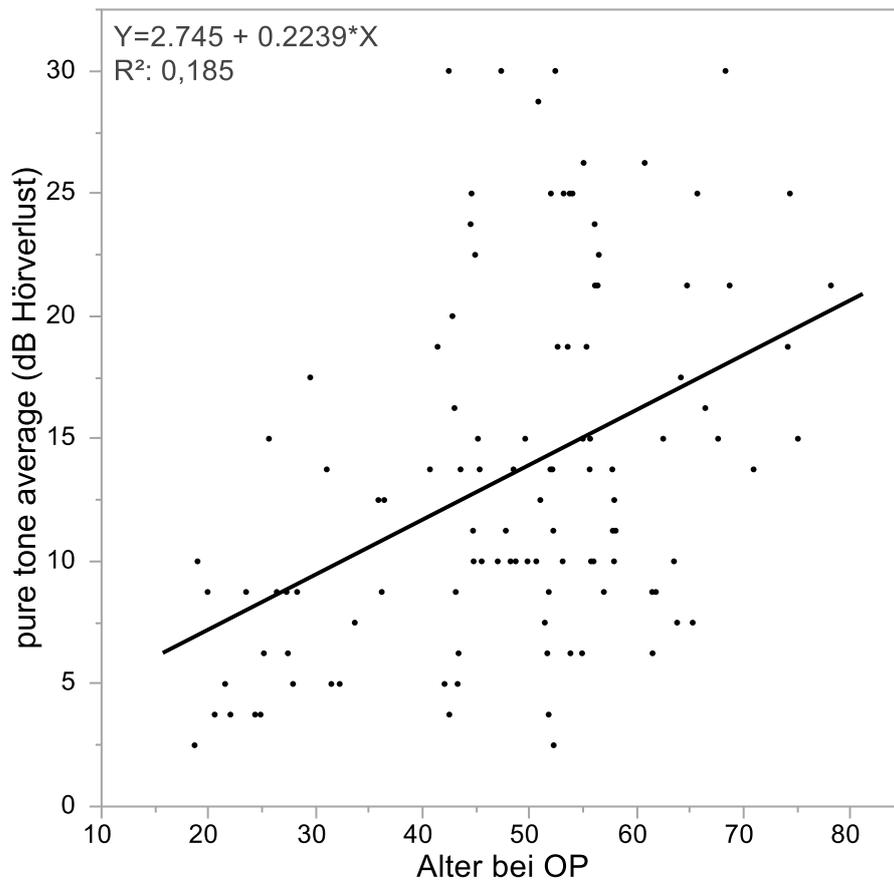
#### **3.1.2.1 Reintonaudiometrie des normalhörigen Ohres**

In Abbildung 12 ist die letzte präoperative Reintonaudiometrie des normalhörigen Ohrs von Gruppe A und Gruppe B dargestellt.

Bis 2 kHz lag der Median in beiden Gruppen bei 10 dB HV. Ab 3 kHz kam es zu einer Zunahme des medianen Hörverlusts auf bis zu 30 dB (Gruppe A) und 40 dB (Gruppe B) bei 8 kHz. Die mediane PTA lag in Gruppe A bei 10 dB Hörverlust und in Gruppe B bei 13,75 dB Hörverlust. Der Unterschied war im Mann-Whitney U-Test nicht signifikant. Die Werte der einzelnen Patienten aus Gruppe C finden sich in Tabelle 14. Der mediane Wert der Patienten aus Gruppe C lag bei 13,75 dB Hörverlust und wich nicht wesentlich von Gruppe A oder Gruppe B ab.



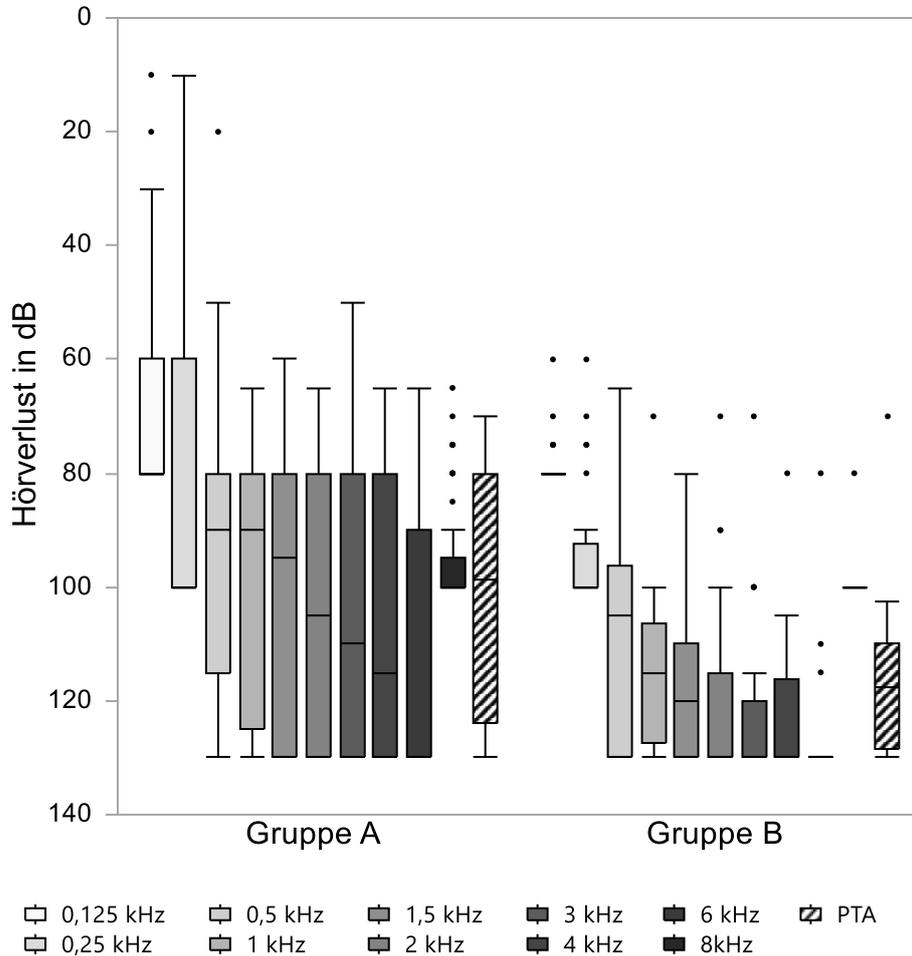
**Abbildung 12:** Reintonaudimetrie des normalhörigen (NH) Ohrs in Gruppe A und Gruppe B in dB Hörverlust. Die Messwerte der letzten präoperativen Messung wurden in Box-Whisker-Plots dargestellt. Ausreißer wurden als Punkte abgebildet, der Median durch den horizontalen Strich im Box-Plot. Die einzelnen Frequenzen wurden in Graustufen kodiert. Der PTA (pure tone average, Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz) wurde im schwarz gestreiften Boxplot dargestellt. Der mediane PTA lag in Gruppe A bei 10 dB Hörverlust und in Gruppe B bei 13,75 dB Hörverlust. Der Unterschied war im Mann-Whitney-U-Test nicht signifikant.



**Abbildung 13:** Korrelation zwischen Alter bei OP und pure tone average des normalhörigen (NH) Ohrs. Der PTA (pure tone average, Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz) der letzten präoperative Reintonaudiometrie wurde gegen das Alter der Patienten aufgetragen. Es lagen 108 präoperative Messungen von 110 Patienten aus Gruppe A, B und C vor (2 extern operierte, hier wurde der erste postoperative Messwert verwendet). Der PTA nahm pro Lebensjahr um 0,22 dB HV zu. Die Zusammenhang war in der bivariaten Regressionsanalyse signifikant ( $p < 0,0001$ ).

Der PTA der letzten präoperativen Reintonaudiometrie des normalhörigen Ohrs hing signifikant mit dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt ihrer Operation (Abb. 13) zusammen. Im Alter zwischen 40 und 60 Jahren lagen die PTAs im Bereich von 2,5 dB HV bis 30 dB HV.

### 3.1.2.2 Verlauf der Reintonaudiometrie des SSD-Ohres



**Abbildung 14:** Reintonaudiometrie des ertaubten (SSD) Ohres in Gruppe A und Gruppe B (dB Hörverlust). Die Messwerte der letzten präoperativen Messung wurden in Box-Whisker-Plots dargestellt. Ausreißer wurden als Punkte abgebildet, der Median durch den horizontalen Strich im Box-Plot. Die einzelnen Frequenzen wurden in Graustufen kodiert. Wenn kein Wert messbar war, dann wurde die maximale Kapazität des Audiometers angegeben (80 dB bei 0,125 kHz; 100 dB bei 0,25 und 8 kHz und 130 dB bei den restlichen Frequenzen). Der PTA (pure tone average, Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz) wurde im schwarz gestreiften Boxplot dargestellt. Der mediane PTA von Gruppe A lag bei 98,75 dB, der von Gruppe B bei 117,5 dB. Der Unterschied der PTAs von Gruppe A und B war im Mann-Whitney U-Test (Normal-Approximation) signifikant ( $p = 0,0042$ ).

In Abbildung 14 ist das letzte präoperative Reintonaudiogramm des ertaubten Ohrs von Gruppe A und Gruppe B dargestellt. Wenn kein Wert messbar war, dann wurde die maximale Kapazität des Audiometers angegeben (80 dB bei 0,125 kHz; 100 dB bei 0,25 und 8 kHz und 130 dB bei den restlichen

Frequenzen). Die medianen Ergebnisse in Gruppe A lagen in den Frequenzen von 0,5 bis 3 kHz bei 90 bis 100 dB Hörverlust. In Gruppe B lagen die medianen Werte in diesem Frequenzbereich über 100 dB Hörverlust. Ab 2 kHz war in Gruppe B im Median kein Wert mehr messbar. Der mediane PTA von Gruppe A lag bei 98,75 dB HV, in Gruppe B lag der Median bei 117,5 dB Hörverlust. Der Unterschied von 18,75 dB im Median war im Mann-Whitney-U-Test signifikant ( $p = 0,0042$ ). Auf der ertaubten Seite lag kein Zusammenhang zwischen Alter bei OP und dem PTA der letzten präoperativen Reintonaudiometrie vor ( $r^2 = 0,0173$ ).

Der PTA der Patienten aus Gruppe C ist in Tabelle 14 angegeben. Im Median lag er bei 97,5 dB Hörverlust. Der minimale Wert lag bei 63,75 dB Hörverlust, der maximale Wert bei 130 dB Hörverlust. Bei 2 der 4 durch eine Infektion ertaubten Patienten und 2 der 3 nach Vestibularisschwannom-Resektion ertaubten Patienten war in den Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz kein Tonhören messbar (PTA bei 130 dB). Vier Patienten wurden aufgrund ihres Resthörvermögens von weniger als 70 dB Hörverlust in Gruppe C aufgenommen. Der PTA dieser vier Patienten lag zwischen 63,75 und 66,25 dB Hörverlust.

### **3.1.3. Freiburger Sprachtest – Sprachverständnis in Ruhe**

Der Freiburger Sprachtest dient zur Untersuchung des Sprachverständnisses in Ruhe bei 65 und 80 dB Sprachlautstärke. In der vorliegenden Studie werden Ergebnisse präsentiert, die mit einsilbigen Wörtern im Freifeld gemessen wurden. Das normalhörige Ohr wurde durch sprachadaptiertes Rauschen vertäubt. Präoperativ lagen in Gruppe A von 5 Patienten keine Messungen vor. In Gruppe B und Gruppe C fehlten präoperativ die Messwerte von je zwei Patienten. In Gruppe A absolvierten alle Patienten ( $n = 63$ ) postoperativ mindestens einen Freiburger Sprachtest. In Gruppe B ( $n = 25$ ) und Gruppe C ( $n = 22$ ) lag von jeweils zwei Patienten keine Messung des Sprachverständnisses in Ruhe mit Cochlea-Implantat vor.

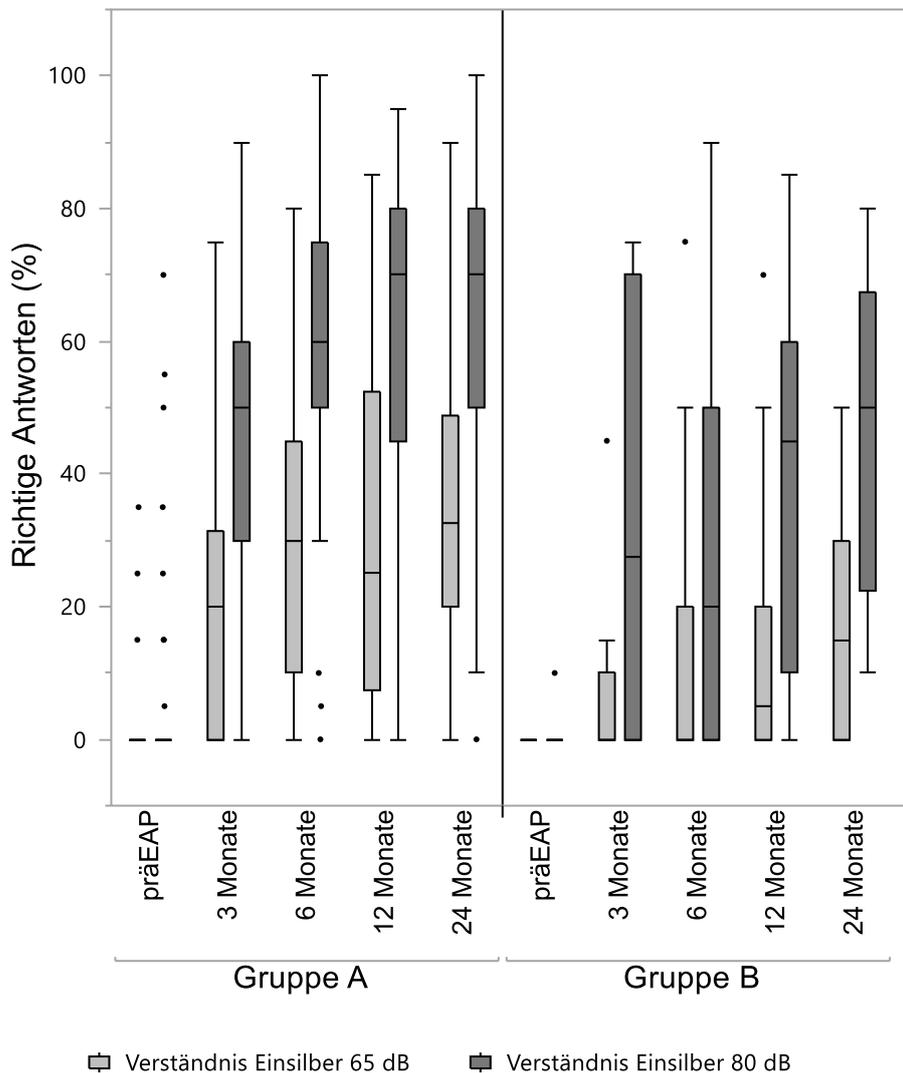
### 3.1.3.1 Verlauf des Sprachverständnisses in Ruhe

In Abbildung 15 sind die Ergebnisse im Freiburger Sprachtest vor der Erstanpassung des Sprachprozessors sowie 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung in Box-Whisker-Plots dargestellt.

Präoperativ erreichten in Gruppe A bei 65 dB Sprachlautstärke 3 Patienten ein Sprachverständnis in Ruhe (einer mit Hörgerät), in Gruppe B erreichte präoperativ kein Patient ein Sprachverständnis in Ruhe bei 65 dB. Bei 80 dB erreichten in Gruppe A 7 Patienten ein Sprachverständnis zwischen 5% und 70% (3 mit Hörgerät), in Gruppe B lag ein Patient mit Hörgerät bei einem Sprachverständnis in Ruhe von 10%.

Postoperativ erreichten die Patienten aus Gruppe A bei 65 dB Sprachlautstärke im Median ein Sprachverständnis von 20% nach 3 Monaten. Im Verlauf wurden im Median Werte von 30% nach 6 Monaten, 25% nach 12 Monaten sowie 32,5% Einsilber-Verständnis in Ruhe nach 24 Monaten erreicht. Die Verbesserung des Sprachverständnisses in Ruhe durch die CI-Versorgung war zu allen 4 Zeitpunkten nach der Erstanpassung des Sprachprozessors im Wilcoxon-Vorzeichenrangtest signifikant ( $p < 0,0001$ ). Ebenfalls signifikant war die Verbesserung vom Zeitpunkt 3 Monate nach der Erstanpassung bis zum Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung ( $p = 0,0139$ ).

Das mediane Sprachverständnis in Ruhe bei 65 dB lag in Gruppe B nach 3 und 6 Monaten bei 0%. Nach 12 Monaten erreichten die Patienten im Median Werte von 5% Sprachverständnis in Ruhe. Gruppe B erreichte nach 24 Monaten 15% Sprachverständnis in Ruhe. In Gruppe B fand sich im Vergleich zum unversorgten (präEAP) Zustand eine signifikante Verbesserung des Sprachverständnisses in Ruhe nach 3 Monaten ( $p = 0,0018$ ), 6 Monaten ( $p = 0,0044$ ), 12 Monaten ( $p = 0,0001$ ) und 24 Monaten ( $p < 0,0001$ ). Verwendet wurde der Wilcoxon-Vorzeichenrangtest.



**Abbildung 15:** Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65 dB (hellgrau) und 80 dB (dunkelgrau)) in Gruppe A und Gruppe B. Der Verlauf über die ersten 24 Monate nach Erstanpassung wurde abgebildet. Die Anzahl korrekter Antworten in Prozent wurde in Box-Whisker-Plots dargestellt. Die Messzeitpunkte waren präEAP (vor Erstanpassung des Sprachprozessors) und 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung des Sprachprozessors. Das mediane Sprachverständnis in Ruhe der Gruppe A lag in allen Messungen mit Cochlea Implantat über dem medianen Sprachverständnis in Gruppe B. Im Wilcoxon-Vorzeichenrangtest war die Verbesserung durch die CI-Versorgung in beiden Gruppen zu jedem Zeitpunkt signifikant.

Die Ergebnisse der Gruppe A und Gruppe B wurden zum Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung verglichen. Es wurde der Wert ausgewählt, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung lag. Sowohl bei Einsilbern mit 65 dB (Median Gruppe A 25%, Gruppe B 0%,  $p = 0,0020$ ) als auch bei Einsilbern mit 80 dB (Median Gruppe A 60%, Gruppe B 45%,  $p = 0,0023$ )

erreichte Gruppe A ein signifikant besseres Sprachverständnis in Ruhe als Gruppe B. Verwendet wurde der Mann-Whitney-U-Test mit Normal-Approximation.

Einsilber bei 80 dB wurden zu jedem Zeitpunkt von beiden Gruppen besser verstanden als Einsilber bei 65 dB. Gruppe A erreichte nach 3 Monaten im Median 50% Sprachverständnis in Ruhe bei 80 dB. Nach 6 Monaten lag das Sprachverständnis in Ruhe im Median bei 60%. 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung erreichte Gruppe A im Median 70 % Sprachverständnis in Ruhe. Die medianen Werte von Gruppe B lagen deutlich niedriger (27,5% nach 3 Monaten, 20% nach 6 Monaten, 45% nach 12 Monaten und 50% nach 24 Monaten).

Die Ergebnisse im Freiburger Sprachtest mit Einsilbern bei 65 und 80 dB der Patienten aus Gruppe C finden sich in Tabelle 15. Von zwei der sieben Patienten ohne ausreichende Deutschkenntnisse lagen keine postoperativen Werte vor. Zwei dieser sieben Patienten erreichten bei 65 dB nie einen Wert über 0. Zwei weitere Patienten erreichten maximal 30% Sprachverständnis bei 65 dB. Patient 1-6 war der beste Patient dieser Untergruppe und erreichte nach 12 Monaten in Ruhe ein Sprachverständnis von 60%.

In Gruppe 2 (Fibrosierung der Cochlea) erreichte Patient 2-1, der durch einen Hörsturz ertaubt ist und eine basale Fibrosierung der Cochlea aufwies, ein Sprachverständnis von 50% nach 24 Monaten. Zwei der drei anderen Patienten (alle durch eine Infektion ertaubt) erreichten kein Sprachverständnis bei 65 dB. Patient 2-4 erreichte nach 6 Monaten 5% bei 65 dB und 40% bei 80 dB.

Die Patienten, die aufgrund eines intracochleären Schwannoms in Gruppe C (Untergruppe 3) eingeteilt wurden, erreichten alle ein gewisses Sprachverständnis in Ruhe. Patient 3-1 erreichte ausschließlich nach 6 Monaten bei 65 dB ein Sprachverständnis von 15%. Bei 80 dB lag er zwischen 20 und 50 %. Patient 3-2 erreichte nach 12 Monaten 75% Sprachverständnis in Ruhe bei 65 dB. Bei Patient 3-3 lagen nur 14 Elektroden intracochleär. Er erreichte nach 6

Monaten ein Sprachverständnis von 45% bei 65 dB (allerdings nur 10% bei 80 dB).

**Tabelle 15:** Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65 dB und 80) in Gruppe C. In Spalte 1 findet sich die Patientenummer (Pat.-Nr.) der einzelnen Patienten. Der Verlauf über die ersten 24 Monate nach Erstanpassung wurde abgebildet. Die Messzeitpunkte sind präEAP (vor Erstanpassung des Sprachprozessors) sowie 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung des Sprachprozessors. Angegeben wurde das Sprachverständnis in Prozent, leere Zellen stehen für fehlende Messwerte.

Pat.-Nr.	prä EAP		3 Monate		6 Monate		12 Monate		24 Monate	
	65dB	80dB	65dB	80dB	65dB	80dB	65dB	80dB	65dB	80dB
1-1	0	0								
1-2	0	10	0	20	30	60				
1-3	0	0			0	50	0	0		
1-4	0	0	55	65	50	90	60	75		
1-5	0	0								
1-6	0	0	30	60		20	85			
1-7	0	0	0	0	0	0				
2-1	0	0			30	75	35	75	50	85
2-2	0	0	0	0						
2-3			0	0	0	25				
2-4	0	0	0	40	5	40				
3-1	0	0	0	35	15	20	0	20	0	50
3-2	0	25	30	65	40	80	75	90		
3-3	0	30	20	40	45	10				
4-1	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0
4-2	0	0			0	0			0	20
4-3	0	0	10	40	0	10	0	15	0	35
5-1	20	40	25	50	0	50	20	50		
5-2	0	0	10	20	5	25	20	35	45	50
5-3	0	5			10	20	10	40	15	70
5-4	0	0	0	50	10	60	10	40	20	90
6-1									70	85

Gruppe 4 umfasst drei Patienten, die nach der Resektion eines Vestibularisschwannoms ertaubt sind. Patient 4-1 erreichte nach 12 Monaten jeweils ein Sprachverständnis von 5% bei 65 und 80 dB. Patient 4-2 erreichte ausschließlich nach 24 Monaten bei 80 dB 20% Sprachverständnis. Patient 4-3 war der beste Patient dieser Untergruppe. Er erreichte einmalig 10% bei 65 dB

(nach 3 Monaten) und bei 80 dB ein Sprachverständnis zwischen 10 und 40% in Ruhe.

In Gruppe 5 finden sich die Patienten, die aufgrund ihres zu guten Resthörvermögens (PTA <70 dB Hörverlust) aus der vergleichenden Betrachtung ausgeschlossen werden mussten. Patient 5-1 (erlaubt durch Morbus Menière) erreichte mit Hörgerät präoperativ 20% Sprachverständnis bei 65 dB und 40% Sprachverständnis bei Einsilbern mit 80 dB. Nach der CI-Versorgung lagen die Werte bei 65 dB bei maximal 25% (nach 3 Monaten) und bei 80 dB konstant bei 50%. Patient 5-2 (erlaubt durch Morbus Menière) erreichte präoperativ kein freies Sprachverständnis. Im postoperativen Verlauf verbesserten sich die Werte von 10% und 20% bei 65 dB und 80 dB nach 3 Monaten auf Werte von 45% und 50% nach 24 Monaten. Patient 5-3 (erlaubt durch einen Hörsturz) erreichte präoperativ bei 80 dB ein Sprachverständnis von 5%. Im postoperativen Verlauf verbesserte er sich kontinuierlich und erreichte nach 24 Monaten 15% bei 65 dB und 70% bei 80 dB. Patient 5-4 (erlaubt durch einen Hörsturz) erreichte präoperativ kein freies Sprachverständnis. Im postoperativen Verlauf steigerte er sich bei 65 dB von 0% nach 3 Monaten auf 20% nach 24 Monaten und bei 80 dB von 50% nach 3 Monaten auf 90% nach 24 Monaten.

Patient 6-1 wurde nach einem Schädelhirntrauma extern implantiert. Er verstand nach 24 Monaten 70% der Einsilber bei 65 dB und 85% der Einsilber bei 80 dB.

Zusammengefasst waren die Ergebnisse von Gruppe C im Freiburger Sprachtest mit Einsilbern im Vergleich mit Gruppe A deutlich schlechter. Nur sechs Patienten erreichten in einer Messung mindestens 35% Sprachverständnis in Ruhe.

### **3.1.3.2 Einfluss der Ertaubungsursache auf das Sprachverständnis in Ruhe**

In Tabelle 16 findet sich eine Untergliederung der Gruppen A und B nach der Ertaubungsursache der Patienten. Der Wert des Freiburger Sprachtests

(Einsilber, 65 dB), der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung lag, wurde verwendet. Angegeben wurde der Median, das Minimum und das Maximum der nach Ertaubungsursache unterteilten Werte. Fast die Hälfte aller Werte stammte von Patienten aus Gruppe A, die durch einen Hörsturz ertaubt sind (n=41). Hier lag das mediane Sprachverständnis in Ruhe bei 65 dB Sprachlautstärke bei 30%. Die anderen Ertaubungsursachen waren im Verhältnis in Gruppe A selten vertreten (n≤6).

**Tabelle 16:** Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65 dB) nach Ertaubungsursache aufgeteilt. Ausgewählt wurde der nächstgelegene Wert (Prozent) am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung der einzelnen Patienten. In der Tabelle wurden die Werte nach Gruppe und Ertaubungsursache untergliedert. Es wurde die Anzahl an Werten (n), der Median sowie der minimale und der maximale Wert pro Ertaubungsursache angegeben. Lag die Anzahl bei 2, wurden die beiden Werte als Minimum und Maximum angegeben, bei n = 1 wurde der Wert in der Spalte Median angegeben. In der letzten Zeile findet sich ein Überblick über die Werte des Gesamtkollektivs (Gesamt).

Ertaubungsursache	Gruppe A				Gruppe B			
	n	Median	Min	Max	n	Median	Min	Max
Hörsturz	41	30	0	80	2		50	70
infektiös	6	12,5	0	55	5	20	0	40
Cholesteatom	4	15	0	80	2		10	20
traumatisch	4	40	0	85	3	0	0	20
M. Menière	3	20	5	55	1	0		
genetisch	3	10	0	85				
unbekannt	2		10	70	10	0	0	10
Gesamt	63	25	0	85	23	0	0	70

In Gruppe B war die Ertaubungsursache am häufigsten unbekannt (n=10). Die Patienten mit unbekannter Ertaubungsursache schnitten im Verhältnis zu den anderen Patienten in Gruppe B eher schlecht ab (vgl. Maximum). 9 dieser 10 Patienten sind möglicherweise kongenital ertaubt und im Verhältnis zu den anderen Patienten aus Gruppe B länger ertaubt (mediane Ertaubungsdauer 43 Jahre). Die zwei Patienten mit Hörsturz in Gruppe B erreichten 50 und 70% Einsilberdiskrimination in Ruhe und lagen damit über dem Median der Patienten mit Hörsturz aus Gruppe A.

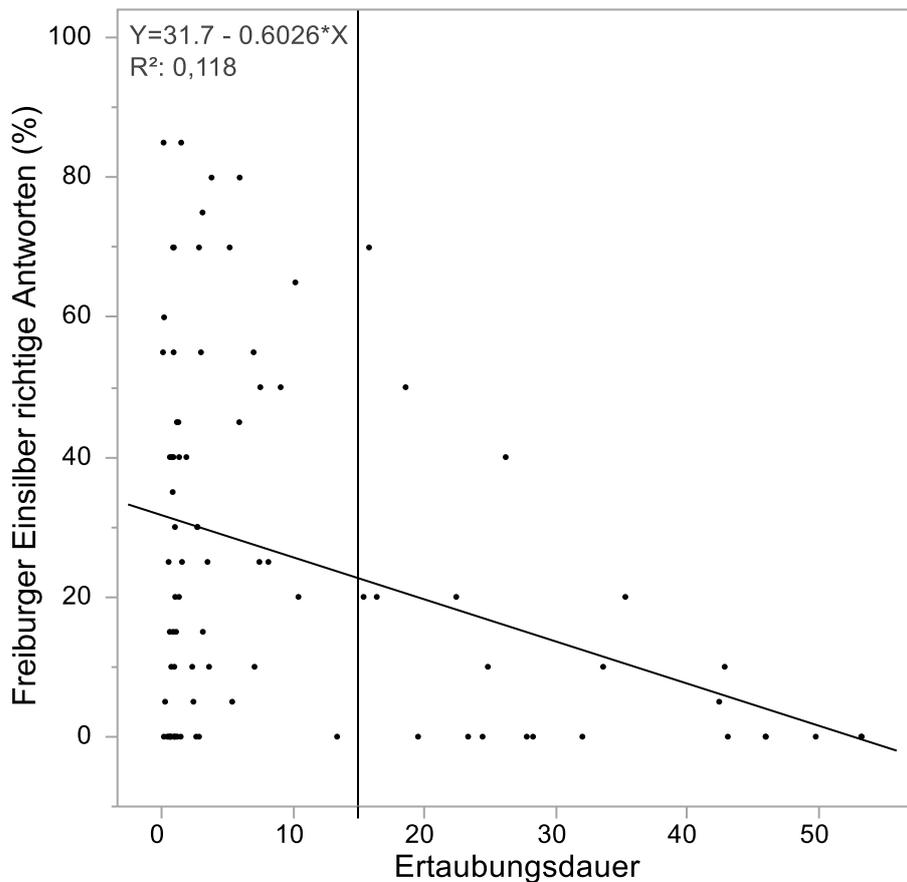
Die Ergebnisse der Patienten aus Gruppe C wurden mit ihrer Ertaubungsursache in 3.3.1 beschrieben.

### 3.1.3.3 Einfluss der Ertaubungsdauer auf das Sprachverständnis in Ruhe

Das Sprachverständnis in Ruhe von Gruppe A und Gruppe B wurde in Abbildung 16 gegen die Ertaubungsdauer aufgetragen. Der angegebene Wert (%) wurde im Freiburger Sprachtest mit Einsilbern bei 65 dB erhoben und lag nächstmöglich am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung. Die senkrechte Linie teilt Gruppe A (links) und Gruppe B (rechts). Sie liegt bei einer Ertaubungsdauer von 15 Jahren, die das Kriterium war, nach dem die Patienten in Gruppe A und Gruppe B unterteilt wurden. Der Determinationskoeffizient lag bei 0,0118. Abgesehen von den zwei Patienten mit Hörsturz in Gruppe B und einem Patienten, der durch eine Infektion ertaubte, erreichten alle Patienten in Gruppe B im dargestellten Freiburger Sprachtest nicht über 20% Sprachverständnis in Ruhe.

In Gruppe A (Ertaubungsdauer <15 Jahre) lag der Median der angegebenen Werte bei 25%. 52% der Patienten erreichten mindestens 20% Sprachverständnis in Ruhe, in Gruppe B waren es nur 13%. Insgesamt 12 der 23 Patienten (52%) aus Gruppe B erreichten zum 12 Monatszeitpunkt kein freies Sprachverständnis (monaural Einsilberdiskrimination 0%). In Gruppe A war dies bei 14 von 63 Patienten (22%) der Fall.

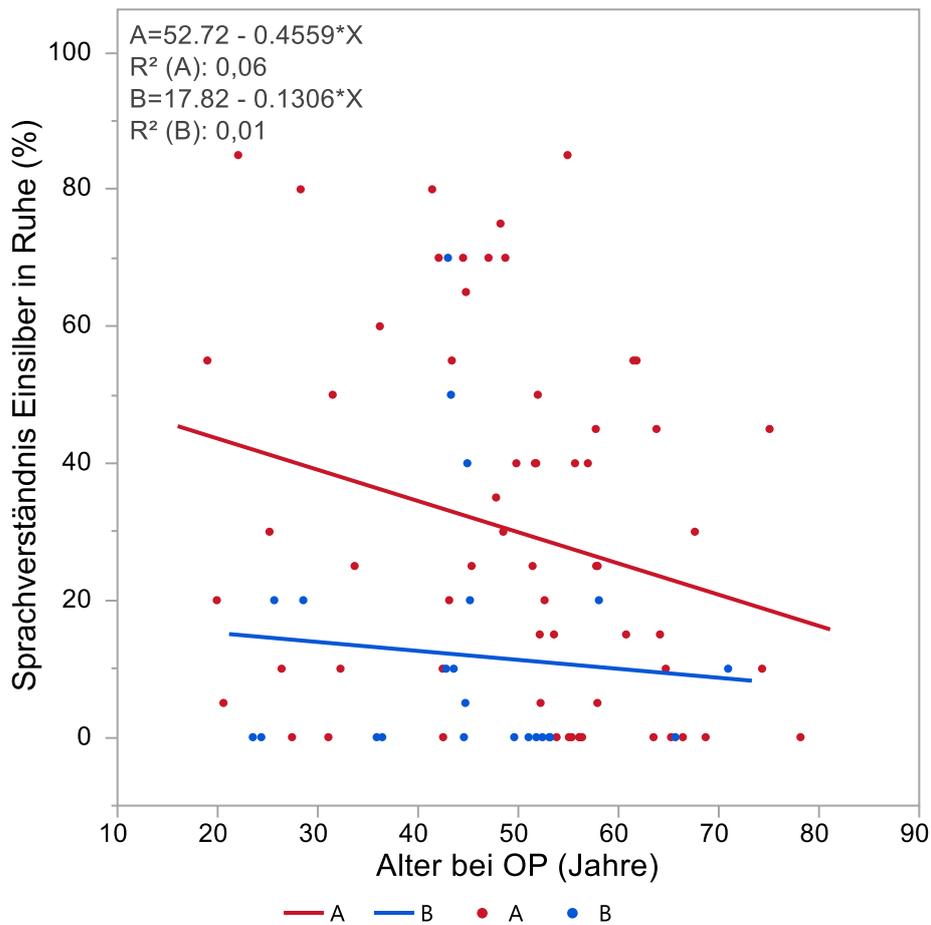
Zusammengefasst kamen nicht-zufriedenstellende Ergebnisse in beiden Gruppen vor. Allerdings waren gute Ergebnisse in Gruppe A wesentlich häufiger als in Gruppe B. Der Unterschied der Ergebnisse (Einsilber, 65 dB) zwischen Gruppe A und Gruppe B war im Mann-Whitney U-Test mit Normal-Approximation signifikant ( $p = 0,0020$ ).



**Abbildung 16:** Regression zwischen Freiburger Sprachtest (Einsilber) und Ertaubungsdauer. Der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung gelegene Freiburger Einsilber Wert bei 65 dB Sprachlautstärke ist gegen die Ertaubungsdauer der Patienten aufgetragen. Die senkrechte Linie, die die x-Achse beim Wert 15 schneidet, teilt Gruppe A (links) und Gruppe B (rechts). Links oben in der Grafik finden sich die Gleichung der Regressionsgeraden und der Determinationskoeffizient  $r^2$ .

### 3.1.3.4 Einfluss des Alters auf das Sprachverständnis in Ruhe

In Abbildung 17 wurden die Ergebnisse des Freiburger Sprachtests (Einsilber 65 dB SPL, 12 Monate) gegen das Alter der Patienten unterteilt in Gruppe A und B aufgetragen. In Gruppe B fand sich ein  $r^2$  von 0,007. Es ließ sich keine signifikante Regression zwischen Alter und Sprachverständnis in Ruhe nachweisen ( $p = 0,699$ ). In Gruppe A fand sich ein  $r^2$  von 0,059.



**Abbildung 17:** Regression zwischen Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65 dB) und Alter der Patienten bei OP. Der am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung gelegene Freiburger Einsilber Wert bei 65 dB Sprachlautstärke wurde gegen das Alter der Patienten aufgetragen. Gruppe A (rot) und Gruppe B (blau) wurden farblich getrennt dargestellt. Oben links im Diagramm finden sich die Formel der Regressionsgeraden und der Determinationskoeffizient der beiden Geraden.

In der bivarianten Regressionsanalyse ließ sich keine signifikante Abhängigkeit des Sprachverständnisses in Ruhe vom Alter der Patienten nachweisen. In Gruppe A lag der p-Wert ( $p = 0,0547$ ) leicht über 0,05.

### 3.1.3.5 Einfluss von möglicherweise kongenitaler Ertaubung auf das Sprachverständnis in Ruhe

In Tabelle 17 findet sich eine Übersicht über die Ergebnisse der möglicherweise kongenital ertaubten Patienten im Freiburger Sprachtest. Die mediane Ertaubungsdauer dieser Patienten lag bei 43 Jahren. Die Messbedingungen des Freiburger Sprachtests wurden in absteigender Schwierigkeit angeordnet. 7 der 9 Patienten erreichten bei Einsilbern mit 65 dB kein Sprachverständnis. Die zwei Patienten, die in dieser Bedingung maximal 20% und 30% der Einsilber verstanden, waren auch in den anderen Messbedingungen führend (55% und 75% bei 80dB, 70% bei Mehrsilbern mit 65 dB und 100% bei Mehrsilbern mit 80dB). Insgesamt zwei möglicherweise kongenital ertaubte Patienten erreichten mit ihrem Cochlea-Implantat kein Sprachverständnis in Ruhe. Die Ergebnisse dieser Patientengruppe waren deutlich schlechter als Gruppe A und schlechter als die der restlichen Patienten in Gruppe B.

**Tabelle 17:** Freiburger Sprachtest der möglicherweise kongenital ertaubten Patienten. Von den 9 möglicherweise kongenital ertaubten Patienten wurde jeweils der beste Wert im Freiburger Sprachtest mit Einsilbern und Mehrsilbern bei 65 dB und 80 dB ausgewählt. Die Messzeitpunkte lagen zwischen 3 und 48 Monaten nach Erstanpassung. 2 der 9 Patienten erreichten keinerlei Sprachverständnis. Bei Einsilbern mit 65 dB (Vergleichswert in andere Grafiken) erreichten nur 2 der 9 Patienten ein Sprachverständnis in Ruhe.

Bedingung	Bestes Ergebnis Freiburger Sprachtest
Einsilber 65 dB	7 möglicherweise kongenital ertaubte Patienten erreichten in dieser Bedingung kein freies Sprachverständnis. Ein Patient erreichte maximal 20%, ein weiterer maximal 30%
Einsilber 80 dB	In dieser Bedingung erreichten 4 Patienten nie ein Sprachverständnis, 2 Patienten erreichten maximal 20%, und je ein Patient 50, 55 und 75%
Mehrsilber 65dB	3 Patienten erreichten kein Mehrsilberversständnis bei 65 dB. Die anderen 6 Patienten erreichten maximal 10%, 3x20%und 2x70%.
Mehrsilber 80dB	2 Patienten erreichten kein Sprachverständnis bei Mehrsilbern mit 80 dB. Die restlichen 7 Patienten erreichten 2x60%, 80% und 4x100% Sprachverständnis.

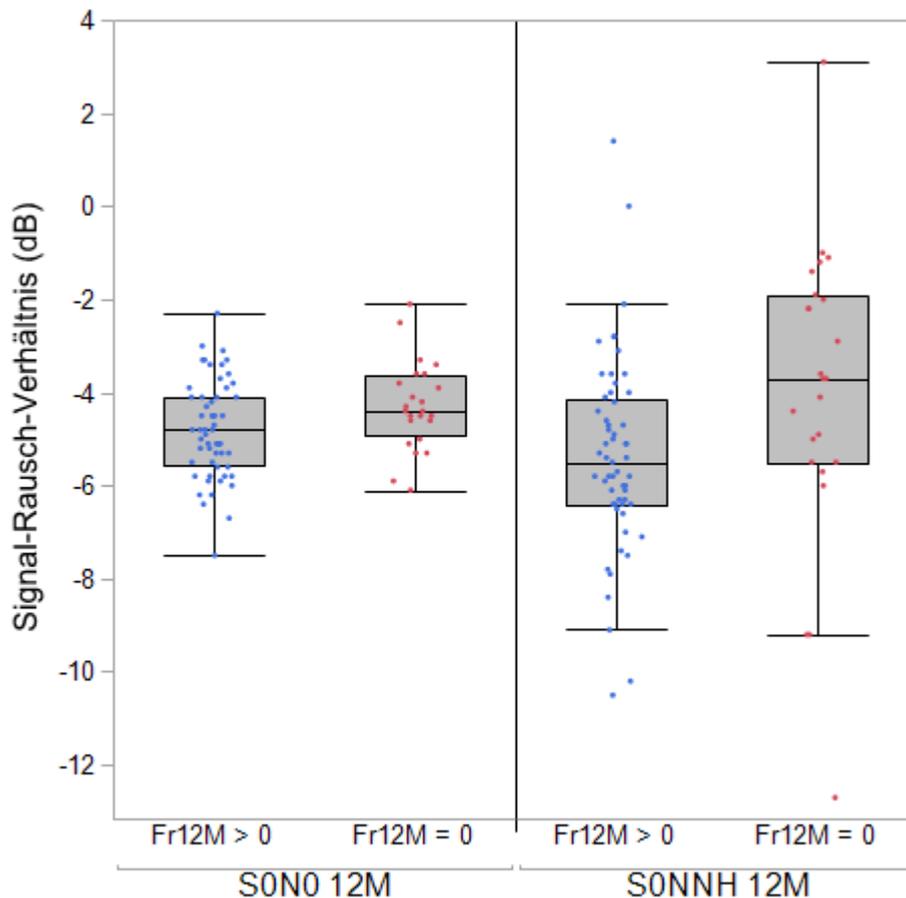
### **3.1.3.6 Einfluss von präoperativem Resthörvermögen auf das postoperative Sprachverständnis**

Der Wert des Freiburger Sprachtests (Einsilber, 65 dB), der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung lag wurde gegen die letzte präoperative Reintonaudiometrie aufgetragen. In Gruppe A (Spearman's  $\rho = -0,1449$ ) und in Gruppe B (Spearman's  $\rho = -0,2316$ ) fand sich eine geringe Korrelation zwischen Resthörvermögen und erreichtem Sprachverständnis in Ruhe. Um einen Einfluss der Ertaubungsursache auszuschließen, wurde die Analyse mit allen durch einen Hörsturz ertaubten Patienten aus Gruppe A und B wiederholt. Hier fand sich ein Spearman's  $\rho$  von  $-0,3526$  und damit ein schwacher Zusammenhang zwischen Resthörvermögen und Sprachverständnis in Ruhe.

### **3.1.3.7 Patienten ohne freies Sprachverständnis zum Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung**

In diesem Abschnitt wurden die Patienten, die im Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65 dB), der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung durchgeführt wurde, kein freies Sprachverständnis erreichten (Wert von 0%), genauer beschrieben. In Gruppe A erreichten 14 von 63 Patienten (22%) kein freies Sprachverständnis nach 12 Monaten. In Gruppe B war dies bei 12 der 23 Patienten (52%) der Fall. Insgesamt 5 der 14 Patienten aus Gruppe A erreichten in einem oder mehreren weiteren Freiburger Sprachtests (Einsilbern, 65dB) ein Sprachverständnis zwischen 5% und 35%. In Gruppe B erreichte nur einer der 12 Patienten, die nach 12 Monaten kein freies Sprachverständnis erreichten, in einer weiteren Messung ein freies Sprachverständnis (25%, 36 Monate nach der Erstanpassung). In Gruppe A sind 8 Patienten (57%) durch einen Hörsturz ertaubt, 2 durch eine Infektion, 2 durch ein Cholesteatom, ein Patient durch eine Felsenbeinfraktur und ein Patient aufgrund einer genetischen

Ursache. Die Patienten aus Gruppe A, die nach 12 Monaten kein freies Sprachverständnis erreichten, waren im Median bei ihrer CI-Implantation 56 Jahre alt und 0,97 Jahre lang ertaubt. Die Patienten aus Gruppe B, die kein freies Sprachverständnis nach 12 Monaten



**Abbildung 18:** Oldenburger Satztest unterteilt nach Sprachverständnis in Ruhe. Angegeben wurde jeweils der Messwert (Signal-Rausch-Verhältnis in dB), der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung erhoben wurden, in den Messbedingungen  $S_{0N_0}$  und  $S_{0NNH}$ . Patienten die nach 12 Monaten bei Einsilbern mit 65 dB ein freies Sprachverständnis erreichten ( $Fr_{12M} > 0$ , blaue Punkte) wurden den Patienten ohne freies Sprachverständnis gegenübergestellt ( $Fr_{12M} = 0$ , rote Punkte). Die Patienten ohne freies Sprachverständnis erreichten im OISa in beiden Messbedingungen im Median schlechtere Ergebnisse.

entwickelten, wiesen als Ertaubungsursache ein Trauma ( $n = 2$ ), eine Infektion ( $n = 2$ ) und einen Morbus Menière ( $n = 1$ ) auf. Bei 7 der 12 Patienten (58%) war die Ertaubungsursache unbekannt, und es lag eine möglicherweise kongenitale Ertaubung vor. Das mediane Alter bei der Operation lag bei 50 Jahren und die mediane Ertaubungsdauer bei 37,6 Jahren.

In Abbildung 18 sind die Ergebnisse des Oldenburger Satztests in den Messbedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  im Vergleich mit den Patienten dargestellt, die ein freies monaurales Sprachverständnis in Ruhe mit CI nach 12 Monaten erreichten. Die Patienten ohne freies Sprachverständnis erreichten in der Messbedingung  $S_0N_0$  im Median ein Signal-Rausch-Verhältnis von -4,4 dB und lagen damit signifikant ( $p = 0,04$ , t-Test) unter den Ergebnissen der Patienten mit freiem Sprachverständnis (-4,8 dB SRV). In der Messbedingung  $S_0N_{NH}$  erreichten die Patienten mit freiem Sprachverständnis in Ruhe im Median -5,25 dB SRV und die Patienten, die kein freies Sprachverständnis erlangten im Median -4,1 dB SRV. Der Unterschied war signifikant ( $p = 0,025$ , t-Test).

### **3.1.4 Oldenburger Satztest – Sprachverständnis im Störgeräusch**

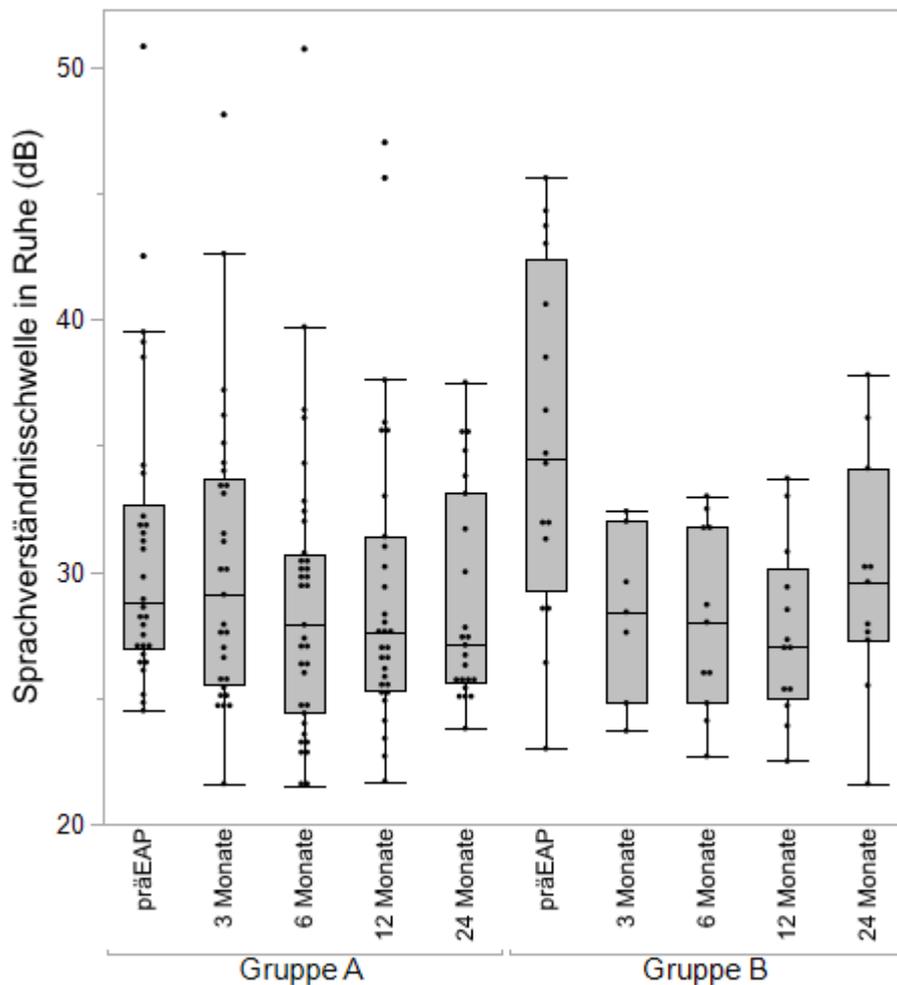
Das Sprachverständnis im Störgeräusch wurde in der vorliegenden Studie mit dem Oldenburger Satztest (OISa) untersucht. Bestimmt wurde das Signal-Rausch-Verhältnis in dB, bei dem 50% der angebotenen Sätze verstanden wurden. Gemessen wurde in den in Tabelle 6 beschriebenen Aufbauten  $S_0$ ,  $S_0N_0$ ,  $S_0N_{NH}$  und  $S_0N_{SSD}$ . Die Angabe in  $S_0$  erfolgte in dB Sprachlautstärke. In den Messungen mit Störgeräusch ( $S_0N_0$ ,  $S_0N_{NH}$  und  $S_0N_{SSD}$ ) wurde das Signal-Rausch-Verhältnis in dB gemessen, wobei niedrigere (negativere) Werte ein unvorteilhafteres Signal-Rausch-Verhältnis widerspiegeln und für ein besseres Hörvermögen im Störgeräusch sprechen. Die vorliegenden Messwerte der Patienten wurden in die angegebenen Zeiträume eingeteilt. 59 der 63 Patienten aus Gruppe A absolvierten mindestens einen Oldenburger Satztest, 43 dieser 59 Patienten wurden präoperativ gemessen. 54 der 59 Patienten mit OISa aus Gruppe A wurden mindestens einmal postoperativ gemessen. Alle Patienten in Gruppe B ( $n = 25$ ) wurden mindestens einmal gemessen, von 20 Patienten lag ein präoperativer Wert vor. 21 Patienten aus Gruppe B wurden postoperativ gemessen. In Gruppe C lagen Ergebnisse des Oldenburger Satztests von 20 der

22 Patienten vor, wobei 14 präoperativ und 18 mindestens einmal mit CI gemessen wurden.

#### **3.1.4.1 Verlauf des Sprachverständnis im Störgeräusch**

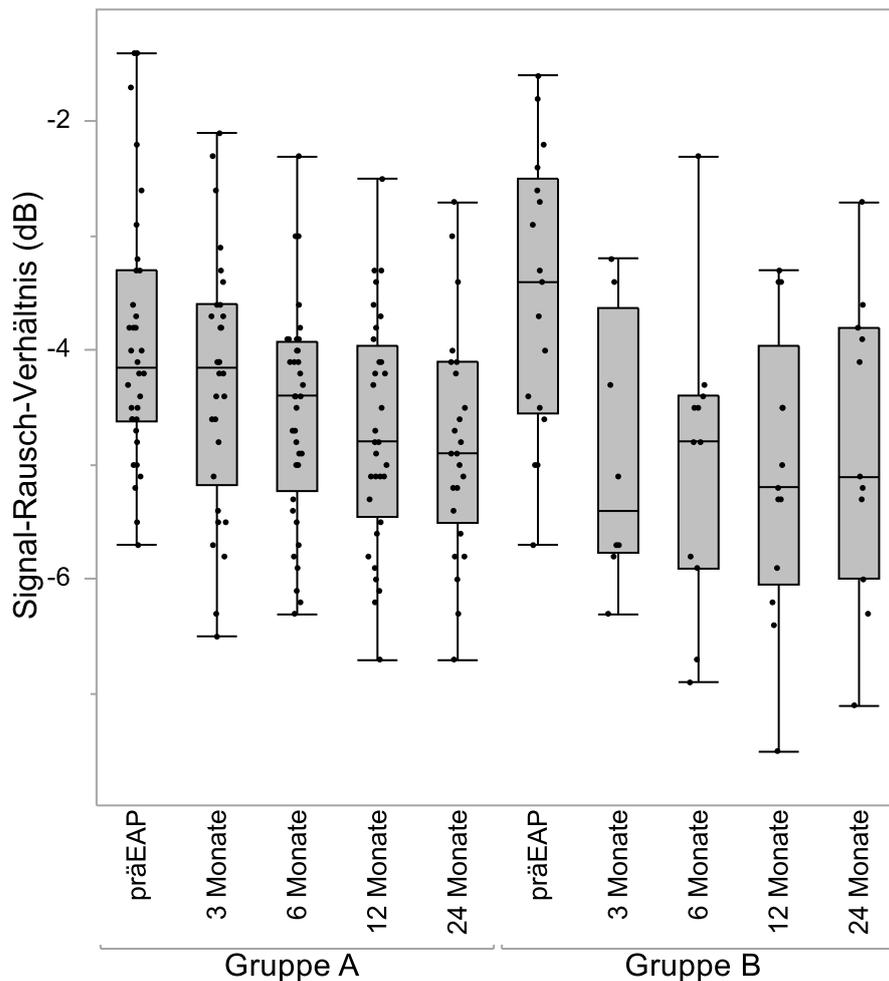
In Abbildung 19 ist der Verlauf der Sprachverständnisschwelle in Ruhe in Gruppe A und Gruppe B dargestellt. Die Patienten aus Gruppe A verstanden im Median präoperativ bei 28,75 dB Sprachlautstärke 50% der angebotenen Sätze. 3 Monate nach der Erstanpassung erreichen die Patienten im Median einen Wert von 29,1 dB. Im Verlauf der ersten 24 Monate nach Erstanpassung nahm die mediane Sprachverständnisschwelle leicht ab (27,9 dB nach 6 Monaten und 27,6 dB nach 12 Monaten) und lag nach 24 Monaten bei 27,15 dB. Die leichte Verbesserung der Sprachverständnisschwelle in Gruppe A war zu keinem Zeitpunkt im Vergleich zum unversorgten Zustand signifikant. (Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest).

Die präoperative Sprachverständnisschwelle in Gruppe B lag im Median bei 34,5 dB und damit deutlich höher als in Gruppe A. Nach der Erstanpassung erfolgte ein Sprung auf einen medianen Wert von 28,4 dB nach 3 Monaten, 28 dB nach 6 Monaten und 27 dB nach 12 Monaten. In Gruppe B ließ sich mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest eine signifikante Verbesserung der Sprachverständnisschwelle nachweisen (3 Monate  $p = 0,0325$ , 6 Monate  $p = 0,0083$ , 12 Monate  $p = 0,0025$  und 24 Monate  $p = 0,0359$ ).



**Abbildung 19:** Verlauf der 50-prozentigen Sprachverständnisschwelle in Ruhe in dB im Oldenburger Satztest ( $S_0$ ) in Gruppe A und Gruppe B. Die Messzeitpunkte waren präEAP (vor Erstanpassung des Sprachprozessors) und 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung des Sprachprozessors. Alle Messungen nach der Erstanpassung mit Cochlea-Implantat auf der ertaubten Seite. Die Ergebnisse wurden in Box-Whisker-Plots dargestellt. Zusätzlich wurden die einzelnen Messwerte als Punkte abgebildet.

Die Messungen im Störgeräusch erfolgten in drei verschiedenen Aufbauten. In Abbildung 20 sind die Ergebnisse in der Messbedingung  $S_0N_0$  (Sprache und Störgeräusch von vorne) abgebildet. In Gruppe A lag das mediane Signal-



**Abbildung 20:** Verlauf der 50-prozentigen Sprachverständnisschwelle im Störgeräusch mit Sprache und Störgeräusch von vorne ( $S_0N_0$ ) im Oldenburger Satztest in Gruppe A und Gruppe B. Angegeben wurde das Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) in dB. Die Messzeitpunkte waren präEAP (vor Erstanpassung des Sprachprozessors) und 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung des Sprachprozessors. Die Ergebnisse wurden in Box-Whisker-Plots dargestellt. Zusätzlich wurden die einzelnen Messwerte als Punkte abgebildet. Der Wert eines Patienten aus Gruppe A lag nach 24 Monaten bei 1,5 dB SRV und ist aus Gründen der Übersichtlichkeit ausgeblendet.

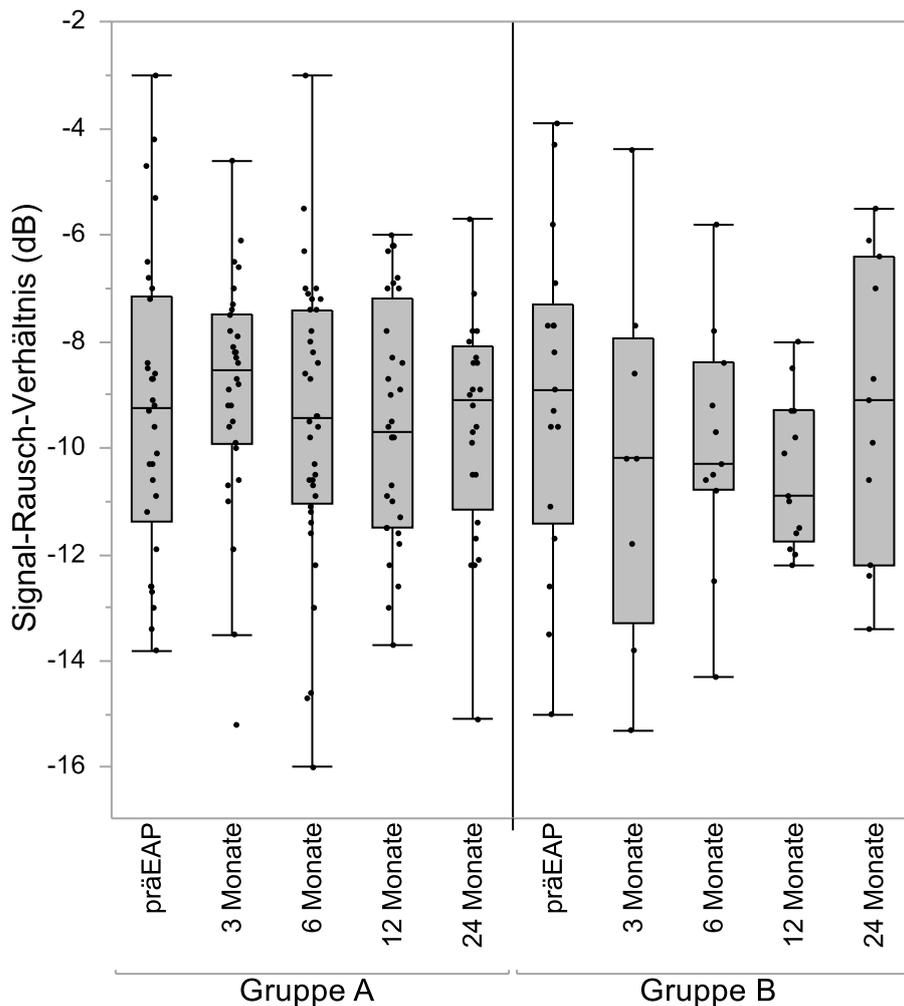
Rausch-Verhältnis präoperativ (unversorgt) bei -4,15 dB. Es lag 3 Monate nach der CI-Versorgung im Median bei -4,15 dB SRV, nach 6 Monaten bei -4,4 dB SRV, nach 12 Monaten bei -4,8 dB SRV sowie nach 24 Monaten bei -4,9 dB SRV. Der Wert, den Gruppe A nach 12 Monaten erreichte, blieb nach 24 Monaten nahezu konstant. Die Daten wiesen eine Normalverteilung auf und wurden mit dem t-Test analysiert. Nach 3 Monaten ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen versorgtem und unversorgtem Zustand nachweisen ( $p = 0,2296$ ). Nach

6 Monaten fand sich eine signifikante Verbesserung ( $p = 0,0236$ ) des Signal-Rausch-Verhältnisses im Vergleich zum unversorgten Wert in der Bedingung  $S_0N_0$ . Die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses im Vergleich zum unversorgten Zustand war nach 12 ( $p = 0,0065$ ) und 24 ( $p = 0,0326$ ) Monaten in Gruppe A signifikant.

In Gruppe B lag das mediane Signal-Rausch-Verhältnis unversorgt bei -3,4 dB SRV. Gruppe B erreichte ein medianes SRV von -5,4 dB nach 3 Monaten, -4,8 dB nach 6 Monaten, -5,2 dB nach 12 Monaten und -5,1 dB nach 24 Monaten. Gruppe B erreichte nach 24 Monaten mit -5,1 dB SRV einen vergleichbaren Wert wie Gruppe A (-4,85 dB SRV). Die Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch im Vergleich zum unversorgten Zustand war in Gruppe B im t-Test zu jedem Messzeitpunkt signifikant (3 Monate  $p = 0,0109$ , 6 Monate  $p = 0,0037$ , 12 Monate  $p = 0,0015$  und 24 Monate  $p = 0,0094$ ).

Eine weitere durchgeführte Messbedingung im OISa ist  $S_0N_{SSD}$  (Abbildung 21). Hier kommen die Sprache von vorne und das Störgeräusch von der ertaubten beziehungsweise mit CI versorgten Seite. Gruppe A erreichte unversorgt im Median bei -9,25 dB SRV ein Sprachverständnis von 50%. Nach 3 Monaten lag der mediane Wert bei -8,55 dB SRV, nach 6 Monaten bei -9,45 dB SRV, nach 12 Monaten bei -9,7 dB SRV und nach 24 Monaten bei -9,1 dB SRV. Die Werte waren, abgesehen von Schwankungen im Bereich von etwas mehr als einem Dezibel Signal-Rausch-Verhältnis, konstant. Die Daten wurden auf Normalverteilung geprüft und anschließend mit dem t-Test analysiert. Es ließ sich zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied zwischen unversorgtem und versorgtem Zustand nachweisen.

Gruppe B erreichte unversorgt ein Signal-Rausch-Verhältnis von -8,9 dB. Versorgt erreichten die Patienten aus Gruppe B nach 3 Monaten im Median ein Signal-Rausch-Verhältnis von -10,2 dB. 6 Monate nach Erstanpassung lag das Signal-Rausch-Verhältnis bei -10,3 dB, nach 12 Monaten bei -10,9 dB und nach



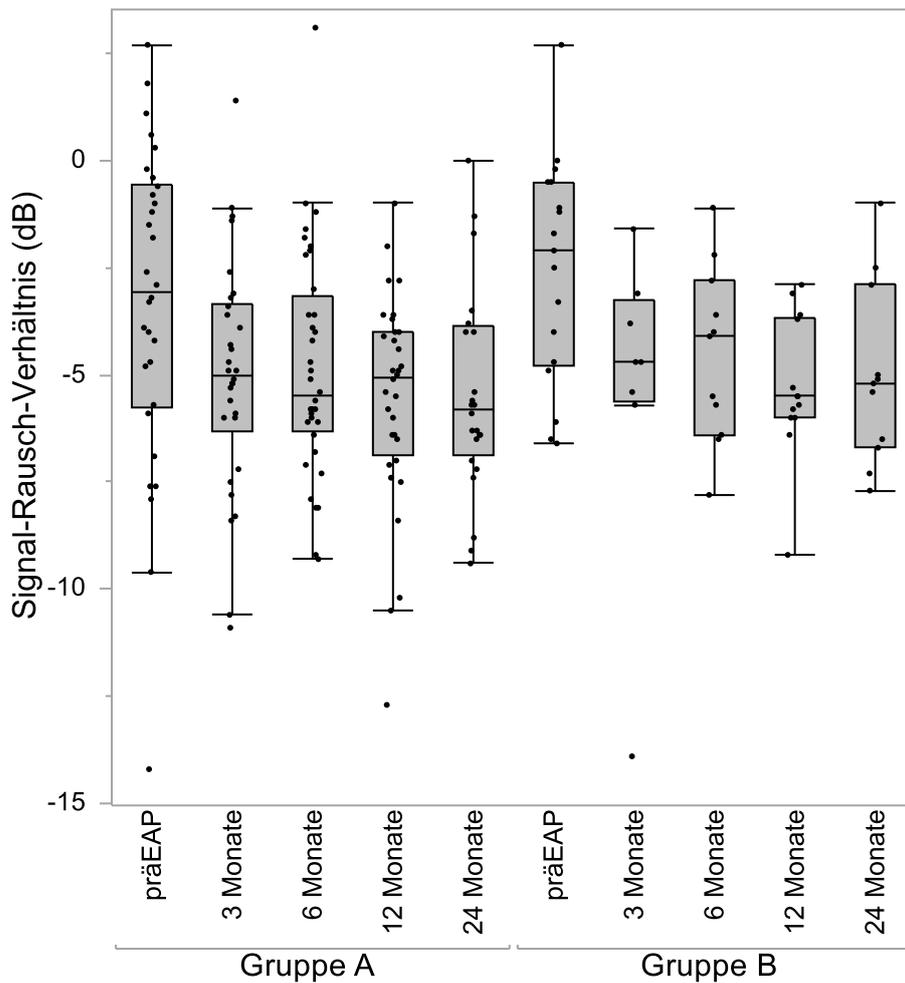
**Abbildung 21:** Verlauf der 50-prozentigen Sprachverständnisschwelle im Störgeräusch mit Sprache von vorne und Störgeräusch von der ertaubten Seite ( $S_0N_{SSD}$ ) im Oldenburger Satztest in Gruppe A und Gruppe B. Angegeben ist das Signal-Rausch-Verhältnis in dB. Die Messzeitpunkte sind präEAP (vor Erstanpassung des Sprachprozessors) und 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung des Sprachprozessors. Die Ergebnisse wurden in Box-Whisker-Plots dargestellt. Zusätzlich wurden die einzelnen Messwerte als Punkte abgebildet. Zwei Ausreißer in Gruppe A wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt (-23 dB SRV nach 12 Monaten, 2 dB SRV nach 24 Monaten)

24 Monaten bei -9,1 dB. Die Werte waren im Median nach 3, 6 und 12 Monaten besser als im unversorgten Zustand, allerdings stimmte der Wert vor der Erstanpassung und der Wert nach 24 Monaten mit CI nahezu überein. Zu keinem Zeitpunkt ließ sich mit dem t-Test ein signifikanter Unterschied zwischen unversorgtem und versorgtem Zustand nachweisen.

Die Ergebnisse des dritten Messaufbaus im Störgeräusch von Gruppe A und Gruppe B wurden in Abbildung 22 dargestellt. Hier kamen Sprache von vorne und Störgeräusch von der normalhörigen Seite ( $S_0N_{NH}$ ). Gruppe A erreichte unversorgt -3,05 dB SRV. Nach 3 Monaten lag das Signal-Rausch-Verhältnis bei -5,0 dB. Nach 6 Monaten erreichten die Patienten aus Gruppe A -5,5 dB SRV, nach 12 Monaten -5,05 dB SRV und nach 24 Monaten -5,8 dB SRV. Zwischen dem unversorgten Zustand und dem Zeitpunkt 3 Monate nach der Erstanpassung fand in Gruppe A eine deutliche Verbesserung statt. Im weiteren Verlauf fand sich nur eine leichte Verbesserung. Im t-Test fand sich im Vergleich des unversorgten (präEAP) und versorgten Zustands nach 3 ( $p = 0,0232$ ), 6 ( $p = 0,0331$ ), 12 ( $p = 0,0025$ ) und 24 ( $p = 0,0057$ ) Monaten eine signifikante Verbesserung.

In Gruppe B lag der mediane Wert vor der Erstanpassung bei -2,1 dB SRV. Nach 3 Monaten erreichten die Patienten aus Gruppe B im Median ein Signal-Rausch-Verhältnis von -4,7 dB. 6 Monate nach der Erstanpassung lag der Wert bei -4,1 dB SRV, 12 Monate nach der Erstanpassung bei -5,5 dB SRV und 24 Monate nach der Erstanpassung bei -5,2 dB SRV. Auch in Gruppe B war zwischen unversorgtem (präEAP) und versorgtem (3 Monate) Zustand eine deutliche Verbesserung zu erkennen. Zwischen dem unversorgten Zustand und allen Zeitpunkten nach der Erstanpassung (3 Monate  $p = 0,0092$ , 6 Monate  $p = 0,0405$ , 12 Monate  $p = 0,0034$  und 24 Monate  $p = 0,0108$ ) ließ sich eine signifikante Verbesserung mit dem t-Test nachweisen.

Sowohl Gruppe A als auch Gruppe B profitierte im Oldenburger Satztest in den Bedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  durch die CI-Versorgung signifikant. Die Sprachverständnisschwelle in Ruhe ( $S_0$ ) war in Gruppe B ebenfalls signifikant verbessert, in Gruppe A konnte eine Tendenz zur Verbesserung erkannt werden (nicht signifikant). Kein signifikanter Unterschied entstand in der Bedingung  $S_0N_{SSD}$  durch die CI-Versorgung.



**Abbildung 22:** Verlauf der 50-prozentigen Sprachverständnisschwelle im Störgeräusch mit Sprache von vorne und Störgeräusch von der normalhörigen Seite ( $S_{0N_{NH}}$ ) im Oldenburger Satztest in Gruppe A und Gruppe B. Angegeben wurde das Signal-Rausch-Verhältnis in dB. Die Messzeitpunkte waren präEAP (vor Erstanpassung des Sprachprozessors) und 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung des Sprachprozessors. Die Ergebnisse wurden in Box-Whisker-Plots dargestellt. Zusätzlich wurden die einzelnen Messwerte als Punkte abgebildet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde ein Wert ausgeblendet (Gruppe A, 24 Monate, 7 dB SRV)

Ein Vergleich von Gruppe A und Gruppe B erfolgte anhand des 12 Monatswertes. Die Messung, die am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung lag, wurde ausgewählt. Die Werte wurden auf Normalverteilung geprüft, die vorlag. In Tabelle 18 wurde der Mittelwert dieser Ergebnisse in den vier Messbedingungen des Oldenburger Satztests ( $S_0$ ,  $S_{0N_0}$ ,  $S_{0N_{SSD}}$  und  $S_{0N_{NH}}$ ) von Gruppe A und Gruppe B dargestellt. Mit dem t-Test (einfaktorielle ANOVA)

konnte kein signifikanter Unterschied der Ergebnisse von Gruppe A und Gruppe B nach 12 Monaten gefunden werden.

**Tabelle 18:** Vergleich der Ergebnisse im Oldenburger Satztest von Gruppe A und Gruppe B. Angegeben wurde der Mittelwert des 12 Monatswerts (nächstgelegen am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung) in Gruppe A und Gruppe B in dB (Sprachverständnisschwelle,  $S_0$ ) und dB Signal-Rausch-Verhältnis (dB SRV,  $S_0N_0$ ,  $S_0N_{SSD}$  und  $S_0N_{NH}$ ). Der Vergleich von Gruppe A und Gruppe B erfolgte mit dem t-Test (einfaktorielle ANOVA). In keiner Messbedingung fand sich ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe A und Gruppe B.

	$S_0$ (dB)	$S_0N_0$ (dB SRV)	$S_0N_{SSD}$ (dB SRV)	$S_0N_{NH}$ (dB SRV)
Gruppe A	29,7	-4,57	-9,52	-5,0
Gruppe B	28,6	-4,87	-10,36	-4,86
p-Wert	0,4031	0,2432	0,2517	0,8259

Die Ergebnisse des Oldenburger Satztests der Patienten aus Gruppe C wurden in den Tabellen 19, 20 und 21 dargestellt. In Tabelle 19 finden sich die Ergebnisse der Patienten ohne ausreichende Deutschkenntnisse (Untergruppe 1) und mit Fibrosierung der Cochlea (Untergruppe 2). In Untergruppe 1 lag von Patient 1-1 kein OISa vor, Patient 1-5 und Patient 1-7 wurden nur unversorgt und mit CROS gemessen. Patient 1-5 verbesserte sich in den Messbedingungen  $S_0$ ,  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  durch das CROS und verschlechterte sich in  $S_0N_{SSD}$ . Patient 1-7 erzielte mit CROS in der Bedingung  $S_0N_{SSD}$  bessere Ergebnisse als ohne, in den anderen 3 Messbedingungen verschlechtert er sich. Von Patienten 1-2 lagen zwei Messungen mit CI vor. Er verbesserte sich in allen Messbedingungen vom Zeitpunkt 3 Monate nach der Erstanpassung zum Zeitpunkt 6 Monate nach Erstanpassung. Patient 1-4 war bimodal versorgt. Es lagen zwei Messungen vor, in denen sich der Patient in den Bedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{SSD}$  im Verlauf verbesserte, in  $S_0$  konstant blieb und in  $S_0N_{NH}$  ein schlechteres Ergebnis erzielte. Patient 1-3 wurde mit CROS sowie 6 und 12 Monate nach Erstanpassung gemessen. Im Vergleich mit der CROS Versorgung wies er in allen Messungen mit CI im Störgeräusch ein verbessertes Sprachverständnis auf. Von Patient 1-6 lagen eine unversorgte Messung und 3 Messungen im Langzeitverlauf (60, 72 und 84 Monate nach Erstanpassung) vor. In  $S_0$  und  $S_0N_0$  war er in allen 3 Messungen mit CI im Vergleich zur unversorgten Messung besser.

**Tabelle 19:** Oldenburger Satztest Gruppe C (Untergruppe 1 und 2). Die Ergebnisse des Oldenburger Satztest ( $S_0$  in dB Sprachlautstärke sowie  $S_0N_0$ ,  $S_0N_{SSD}$  und  $S_0N_{NH}$  in dB Signal-Rausch-Verhältnis (dB SRV)) der Untergruppen 1 (ohne gute Deutschkenntnisse) und 2 (Fibrosierung der Cochlea) wurden dargestellt. Verwendet wurden die Hörhilfen contralateral routing of signals (CROS), Cochlea Implantat (CI) und Cochlea Implantat mit Hörgerät der Gegenseite CI+HG). Die Messzeitpunkte lagen vor Erstanpassung (präEAP) und n Monate nach Erstanpassung.

Pat.-Nr.	Hörhilfe	$S_0$ (dB)	$S_0N_0$ (dB SRV)	$S_0N_{SSD}$ (dB SRV)	$S_0N_{NH}$ (dB SRV)	Zeitpunkt
1-2	CI	39	-1,3	-7,5	-0,4	3 Monate
1-2	CI	35,7	-2,3	-8,3	-0,9	6 Monate
1-3	CROS	56,2	3,4	6,7	7,2	präEAP
1-3	CI	49,7	0,2	-7,3	1,6	6 Monate
1-3	CI	62,8	2,7	-1,6	0,3	12 Monate
1-4	CI+HG	43,8	-2	-6,2	-5,4	6 Monate
1-4	CI+HG	43,8	-3,8	-8,6	-3,8	12 Monate
1-5		27,1	-4,1	-5,4	-2,8	präEAP
1-5	CROS	24,5	-5,2	-3,5	-4	präEAP
1-6		34,5	-2,9	-10,3	-3	präEAP
1-6	CI	27,1	-3,9	-9,5	-5,5	60 Monate
1-6	CI	31,4	-4,6	-13,5	-2,6	72 Monate
1-6	CI	28,9	-5,3	-7,9	-4,6	84 Monate
1-7		45,9	0,9	-7,7	-0,4	präEAP
1-7	CROS	39,8	-2,2	-6	-2,6	präEAP
2-1		49,4	-0,8	-5,4	1,5	präEAP
2-1	CROS	39,9	-4,8	-6,2	-2,4	präEAP
2-1	CI	39,6	-3,9	-5,4	-5,7	12 Monate
2-1	CI	38,5	-5,2	-9,7	-3,4	24 Monate
2-1	CI	41,2	-4,6	-10	-6,6	36 Monate
2-2		26,1	-4,2	-12,3	-2,4	präEAP
2-2	CROS	28,2	-4,1	-8,7	-2,8	präEAP
2-2	CI	25,6	-5,2	-13,5	-0,9	3 Monate
2-3	CI	23,5	-5,8	-8,8	-5,7	3 Monate
2-3	CI	22,7	-6,7	-10,2	-5,2	6 Monate
2-4		32,8	-3,1	-5,8	-2	präEAP
2-4	CI	36,4	-4,4	-8,1	-4,5	3 Monate
2-4	CI	30,2	-4,2	-9,8	-3,6	6 Monate

In  $S_0N_{NH}$  waren die Werte in zwei Messungen verbessert, in  $S_0N_{SSD}$  nur in einer.

Die Patienten mit Fibrosierung der Cochlea wurden in Untergruppe 2 zusammengefasst. Von einem Patienten (2-3) lagen 2 Messungen mit CI vor, in denen er sich in 3 Messbedingungen ( $S_0$ ,  $S_0N_0$  und  $S_0N_{SSD}$ ) im Verlauf

verbesserte. Bei Patient 2-4 wurde unversorgt und zweimal nach der Erstanpassung Messungen durchgeführt. Er war mit CI in allen Messungen im Störgeräusch im Vergleich zum unversorgten Zustand verbessert. Von den Patienten 2-1 und 2-2 lag jeweils unversorgt, mit CROS und mit CI eine Messung vor. Patient 2-1 profitierte deutlich durch das CROS und war in allen Messbedingungen verbessert. Durch die CI-Versorgung verbesserte er sich in den Messbedingungen  $S_0N_{SSD}$  und  $S_0N_{NH}$  weiter, in  $S_0$  und  $S_0N_0$  blieben die Ergebnisse weitestgehend konstant. Patient 2-2 verschlechterte sich durch die CROS-Versorgung in der Messbedingung  $S_0N_{SSD}$  und blieb in den anderen Messbedingungen konstant. Durch die CI-Versorgung verbesserte er sich in den Bedingungen  $S_0$ ,  $S_0N_0$  und  $S_0N_{SSD}$  gegenüber der CROS-Versorgung und dem unversorgten Zustand. In  $S_0N_{NH}$  verschlechterte er sich. Zusammengefasst verbesserte sich das Sprachverständnis der Patienten mit Fibrosierung der Cochlea in fast allen Messungen durch die CI -Versorgung.

In Untergruppe 3 finden sich die Patienten mit intracochleärem Schwannom (Tabelle 20). Von Patient 3-1 lagen ausschließlich Messungen mit CI vor. Er wies in  $S_0$  und  $S_0N_{NH}$  einen negativen Verlauf auf, in  $S_0N_{SSD}$  bleiben die Werte konstant und in  $S_0N_0$  erzielte er nach 12 und 24 Monaten bessere Werte als 6 Monate nach Erstanpassung. Von Patient 3-2 und 3-3 lagen Werte mit Hörgerät und mit CI auf der ertaubten Seite vor. Patient 3-2 verbesserte sich in allen Messbedingungen durch die CI-Versorgung deutlich. Über die Zeitpunkte 3, 6 und 12 Monate nach Erstanpassung fand ein positiver Verlauf statt. Auch Patient 3-3, bei dem nur 14 Elektroden intracochleär lagen, verbesserte sich durch die CI-Versorgung in allen Messbedingungen deutlich. Vom Zeitpunkt 3 Monate nach der Erstanpassung verbesserte sich der Patient in allen Messbedingungen bis zum Zeitpunkt 6 Monate nach der Erstanpassung. Die beiden Patienten in Untergruppe 3 (intracochleäres Schwannom), bei denen ein Vergleichswert ohne CI vorlag, verbesserten sich in allen Messbedingungen im Störgeräusch durch die Versorgung mit einem Cochlea Implantat.

**Tabelle 20:** Oldenburger Satztest Gruppe C (Untergruppe 3 und 4). Die Ergebnisse des Oldenburger Satztest ( $S_0$  in dB Sprachlautstärke sowie,  $S_0N_0$ ,  $S_0N_{SSD}$  und  $S_0N_{NH}$  in dB Signal-Rausch-Verhältnis (dB SRV)) der Untergruppen 3 (intracochleäres Schwannom) und 4 (Ertaubung nach Resektion eines Vestibularisschwannoms) wurden dargestellt. Verwendet wurden die Hörhilfen contralateral routing of signals (CROS), Knochenleitungshörgerät (KL-HG), Hörgerät und Cochlea Implantat (CI). Die Messzeitpunkte lagen vor Erstanpassung (präEAP) und n Monate nach der Erstanpassung.

Pat.-Nr.	Hörhilfe	$S_0$ (dB)	$S_0N_0$ (dB SRV)	$S_0N_{SSD}$ (dB SRV)	$S_0N_{NH}$ (dB SRV)	Zeitpunkt
3-1	CI	28,5	-2,7	-6,4	-7,5	6 Monate
3-1	CI	38,9	-4,2	-6,4	-3,5	12 Monate
3-1	CI	37,9	-4,1	-6,1	-3,2	24 Monate
3-1	CI	40,4	-2,6	-4	-2	36 Monate
3-2	Hörgerät	27,5	-4,7	-6,3	-4,6	präEAP
3-2	CI	24	-4,7	-9	-5,9	3 Monate
3-2	CI	24,3	-5,6	-9,7	-6	6 Monate
3-2	CI	25,2	-5,6	-10,3	-6,1	12 Monate
3-3	Hörgerät	33,4	-4	-6,3	-1,5	präEAP
3-3	CI	27,4	-4,7	-7,7	-3,3	3 Monate
3-3	CI	23,1	-4,9	-8,2	-3,7	6 Monate
4-1		29,5	-3,6	-9,7	0,6	präEAP
4-1	CROS		-2,9	-9,3	1,7	präEAP
4-1	CI	25,3	-4,4	-13,2	-4,4	24 Monate
4-1	CI	23,8	-4,3	-11,2	-4,6	36 Monate
4-2		30,8	-4,4	-10,1	0,6	präEAP
4-2	CROS	25,2	-5,3	-10,6	-0,5	präEAP
4-2	CI	32,6	-4,5	-9,7	2,2	3 Monate
4-3			-1,7	-7,9	-9,4	präEAP
4-3	KL-HG		-2,9	-6	-7,6	präEAP
4-3	CI	28	-3,9	-9,1	-7,8	6 Monate
4-3	CI	33,7	-5	-7	-3,5	36 Monate
4-3	CI	32,9	-2,9	-6,7	-3,7	48 Monate

Untergruppe 4, die nach der Resektion eines Vestibularisschwannoms ertaubte, findet sich ebenfalls in Tabelle 20. Patient 4-1 und Patient 4-2 wurden unversorgt, mit CROS und mit Cochlea-Implantat gemessen. Patient 4-1 hörte im Störgeräusch mit CROS schlechter als im unversorgten Zustand. Durch die CI-Versorgung verbesserte er sich in allen 4 Messbedingungen des Oldenburger Satztests nach 24 und 36 Monaten nach Erstanpassung. Patient 4-2 profitierte durch das CROS in allen Bedingungen im Vergleich mit dem unversorgten Zustand. 3 Monate nach der Erstanpassung hörte er mit CI in fast allen

Messbedingungen schlechter als unversorgt beziehungsweise mit CROS. Nur der Wert in  $S_0N_0$  war mit dem unversorgten Zustand vergleichbar. Patient 4-3 verbesserte sich durch ein Knochenleitungshörgerät im Störgeräusch in  $S_0N_0$  und verschlechterte sich in  $S_0N_{NH}$  und  $S_0N_{SSD}$ . Mit CI erreichte er im Vergleich zum unversorgten Zustand in  $S_0N_0$  bessere Werte, in  $S_0N_{NH}$  schlechtere Werte und in  $S_0N_{SSD}$  einmal einen besseren Wert und zwei schlechtere Werte. Zusammengefasst profitierte Patient 4-1 in allen Messbedingungen durch die CI-Versorgung. Patient 4-2 hörte mit CI im Störgeräusch schlechter als mit CROS und vergleichbar mit dem unversorgten Zustand. Patient 4-3 wies ein verbessertes Sprachverständnis in  $S_0N_0$  auf und profitiert in den weiteren Messbedingungen nicht.

**Tabelle 21:** Oldenburger Satztest Gruppe C (Untergruppe 5). Die Ergebnisse des Oldenburger Satztest ( $S_0$  in dB Sprachlautstärke sowie,  $S_0N_0$ ,  $S_0N_{SSD}$  und  $S_0N_{NH}$  in dB Signal-Rausch-Verhältnis (dB SRV)) der Untergruppen 5 (PTA (pure tone average, Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz) <70 dB Hörverlust auf der ertaubten Seite) wurden dargestellt. Verwendet wurden die Hörhilfen contralateral routing of signals (CROS), Cochlea Implantat (CI) und Cochlea Implantat mit Hörgerät der Gegenseite CI+HG). Die Messzeitpunkte lagen vor der Erstanpassung (präEAP) und n Monate nach Erstanpassung.

Pat.-Nr.	Hörhilfe	$S_0$ (dB)	$S_0N_0$ (dB SRV)	$S_0N_{SSD}$ (dB SRV)	$S_0N_{NH}$ (dB SRV)	Zeitpunkt
5-1	Hörgerät	31,4	-4,5	-8,5	-3,9	präOP
5-1	CI	29,6	-4,9	-9,8	-5,2	3M
5-1	CI	31,4	-6	-9,4	-6,3	6M
5-1	CI	29,9	-5,4	-9,3	-5,4	12M
5-2	CROS	24,3	-4,2	-8,2	-6,4	präOP
5-2		26,6	-2,4	-9,7	-4,5	präOP
5-2	CI	25,6	-4,6	-12,8	-6,6	24M
5-3	CROS	29,7	-2,6	-2,3	-9	präOP
5-3		34,3	-1,6	-4,4	2,6	präOP
5-3	CI	34,5	-2,5	-5,6	-1,4	6M
5-3	CI	33,4	-3,5	-7,9	-3	36M
5-3	CI	32,1	-5,1	-6,8	-2,6	48M
5-4	CI+HG	34,9	-3,7	-16	-8,7	3M
5-4	CI+HG	39,2	-3	-14,9	-13	6M
5-4	CI+HG	40,4	-3,2	-7,3	-4,8	12M
5-4	CI+HG	37	-2,8	-9,8	-4,5	24M

Die Ergebnisse der vier Patienten aus Untergruppe 5, die aufgrund einer

präoperativen PTA von unter 70 dB Hörverlust auf der ertaubten Seite in Gruppe C eingeschlossen wurden, finden sich in Tabelle 21. Patient 5-1 wurde vor der CI-Implantation mit Hörgerät auf der ertaubten Seite gemessen. Mit CI waren nach 3, 6 und 12 Monaten die Ergebnisse in allen Messbedingungen im Störgeräusch verbessert. Patient 5-2 erzielte präoperativ mit einem CROS Hörgerät in 3 Messbedingungen ( $S_0$ ,  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$ ) im Vergleich zum unversorgten Zustand verbesserte Ergebnisse. In  $S_0N_{SSD}$  führte die CROS-Versorgung zu einer Verschlechterung. 24 Monate nach der Erstanpassung erreichte Patient 5-2 sowohl im Vergleich mit dem unversorgten Zustand als auch im Vergleich mit der CROS-Versorgung in allen Messbedingungen im Störgeräusch ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis. Patient 5-3 profitierte durch eine CROS Versorgung in allen Messbedingungen aus  $S_0N_{SSD}$ . Nach der CI-Versorgung ergaben sich in 36 und 48 Monate nach der Erstanpassung verbesserte Werte in allen Messbedingungen im Störgeräusch. In  $S_0N_{NH}$  erzielte der Patient mit CROS-Versorgung sein bestes Ergebnis. Patient 5-4 war bimodal versorgt. Er trug einseitig ein CI und auf der anderen Seite ein Hörgerät. Von Patient 5-4 lagen keine präoperativen Messwerte vor. Im postoperativen Verlauf verschlechterten sich seine Ergebnisse vom Zeitpunkt 3 Monate nach der Erstanpassung bis zum Zeitpunkt 24 Monate nach der Erstanpassung, vor allem in den Messbedingungen  $S_0N_{NH}$  und  $S_0N_{SSD}$ , deutlich.

Von Patient 6-1 lag keine Messung des Sprachverständnisses im Störgeräusch mit dem OISa vor.

#### **3.1.4.2 Einfluss der Ertaubungsursache auf das Sprachverständnis im Störgeräusch**

In Tabelle 22 wurden die Ergebnisse des Oldenburger Satztests in den Bedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  nach der Ertaubungsursache unterteilt. Ausgewählt wurde der Wert der Patienten aus Gruppe A und Gruppe B, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung lag. Auf eine

Unterteilung in Gruppe A und Gruppe B wurde verzichtet, da in den angegebenen Messbedingungen kein Unterschied im Sprachverständnis im Störgeräusch zwischen den beiden Gruppen nachgewiesen werden konnte (vgl. Tabelle 18). Angegeben wurde jeweils der Median, der minimale (beste) Wert und der maximale (schlechteste) Wert.

Der Median des Gesamtkollektivs in der Messbedingung  $S_0N_0$  lag bei -4,5 dB SRV. Die Mediane der Patienten, die durch einen Hörsturz, eine Infektion oder durch eine unbekannte Ursache ertaubten, wichen nahezu nicht vom Median des Gesamtkollektivs ab. Die Patienten, die durch ein Cholesteatom ertaubten, wichen im Median gering positiv vom Gesamtkollektiv ab. Patienten, die als Ertaubungsursache Morbus Menière aufwiesen (n = 4), erreichten im Median

**Tabelle 22:** Sprachverständnis im Störgeräusch unterteilt nach Ertaubungsdauer. Ausgewählt wurde die Messung der Patienten aus Gruppe A und B, die am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung lag. Die Messungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  wurden angegeben, da sich hier eine signifikante Verbesserung durch die CI-Versorgung nachweisen ließ. Die Anzahl an Patienten pro Ertaubungsdauer mit vorliegendem OISa, der Median, der minimale (beste) und maximale (schlechteste) Wert der Gruppen nach Ertaubungsursache wurden angegeben. Als Vergleichswert wurden die Werte des Gesamtkollektivs bestimmt (Gesamt).

Ursache	Anzahl	$S_0N_0$ (dB SRV)			$S_0N_{NH}$ (dB SRV)		
		Median	Min	Max	Median	Min	Max
Hörsturz	41	-4,6	-6,1	-2,5	-5,25	-10,2	-1
unbekannt	11	-4,5	-5,8	-3,1	-3,7	-9,2	1,4
infektiös	10	-4,55	-7,5	-2,1	-5,6	-7	-1,9
Cholesteatom	6	-4,75	-6,7	-3,3	-4,75	-9,3	3,1
M. Menière	4	-3,85	-5,3	-2,3	-4,7	-7,4	-3,6
traumatisch	6	-5,55	-6,2	-3,6	-5,4	-10,5	-2,2
genetisch	3	-5	-5,3	-4,2	-5	-12,7	-3,6
<b>Gesamt</b>	81	-4,5	-7,5	-2,1	-5,1	-12,7	3,1

die schlechtesten Werte (-3,85 dB SRV). Der Median der 6 traumatisch ertaubten Patienten lag bei -5,55 dB SNR und wich positiv vom Gesamtkollektiv ab. Bei den durch eine genetische Ursache ertaubten Patienten war dies auch der Fall, allerdings handelte es sich nur um 3 Patienten. Die maximalen und minimalen Werte zeigten keine auffällige Verteilung.

In der Bedingung  $S_0N_{NH}$  lag der Median der Patienten, die durch einen Hörsturz ertaubt sind, bei -5,25 dB SRV und wich um -0,15 dB SRV positiv vom Gesamtkollektiv (Median -5,1 dB SRV) ab. Eine auffällige Abweichung zeigten in dieser Messbedingung die Patienten, deren Ertaubungsursache unbekannt war. Der Median lag bei -3,7 dB SRV und damit deutlich niedriger als im Gesamtkollektiv und in allen anderen einzelnen Gruppen. Etwas besser als das Gesamtkollektiv waren die medianen Werte der Patienten, die durch eine Infektion oder ein Trauma ertaubt sind. Die genetisch ( $n = 3$ ) ertaubten Patienten wichen nur unwesentlich vom Median des Gesamtkollektivs ab. Der Median der Patienten, die durch Cholesteatom ( $n = 6$ ) und durch einen Morbus Menière ( $n = 4$ ) ertaubt sind lag bei -4,75 dB SRV beziehungsweise bei -4,7 dB SRV und damit leicht unter dem Gesamtkollektiv.

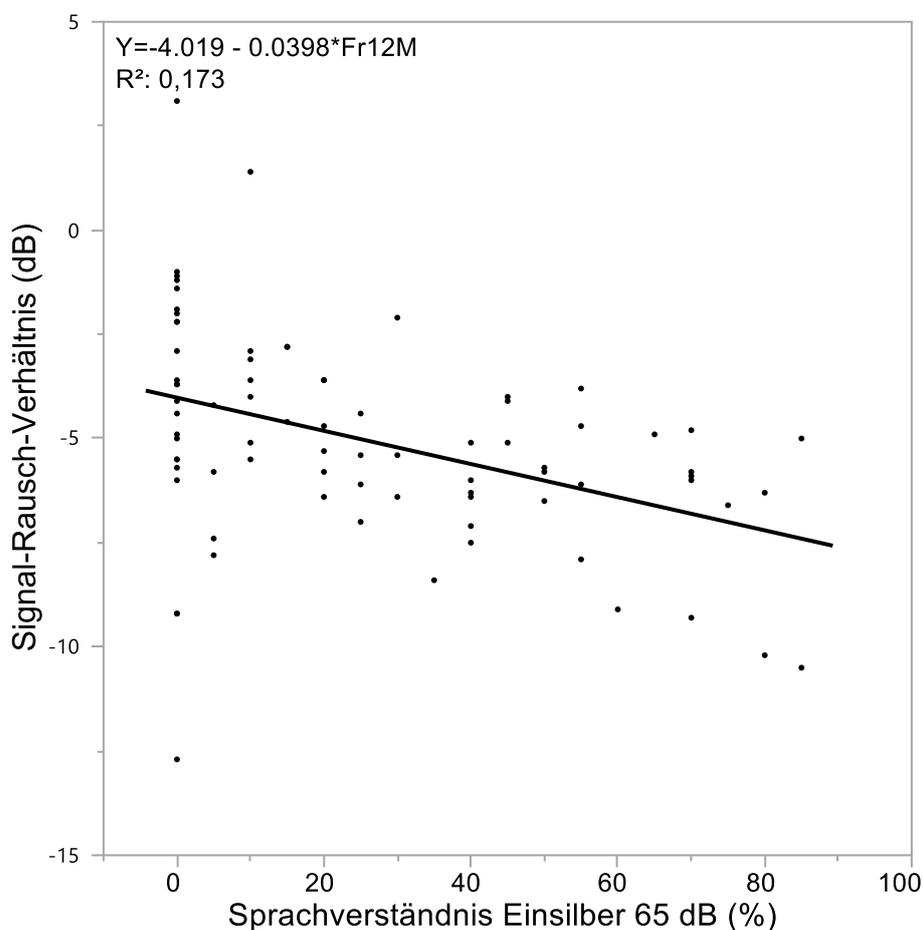
Die Abweichungen der medianen Werte in beiden Messbedingungen waren insgesamt gering.

#### **3.1.4.3 Einfluss der Ertaubungsdauer auf das Sprachverständnis im Störgeräusch**

Der Verlauf der Ergebnisse der einzelnen Messbedingungen von Gruppe A (Ertaubungsdauer <15 Jahre) und Gruppe B (Ertaubungsdauer >15 Jahre) wurde in 3.4.1 grafisch dargestellt und beschrieben. Die Werte der einzelnen Patienten, die am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung lag wurde ausgewählt. Anschließend erfolgte ein Vergleich von Gruppe A und Gruppe B mit dem Mann-Whitney-U-Test ( $S_0$ ) und dem t-Test ( $S_0N_0$ ,  $S_0N_{NH}$ ,  $S_0N_{SSD}$ ). In keiner Messbedingung konnte ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden. Der p-Wert lag in  $S_0$  bei 0,74, in  $S_0N_0$  bei 0,24, in  $S_0N_{NH}$  bei 0,83 und in  $S_0N_{SSD}$  bei 0,25.

### 3.1.4.4 Einfluss des Sprachverständnisses des SSD Ohrs in Ruhe auf das Sprachverständnis im Störgeräusch

Der Einfluss des monauralen Sprachverständnisses in Ruhe mit CI wurde für alle wiedergegebenen Messbedingungen des Oldenburger Satztests ( $S_0$ ,  $S_0N_0$ ,  $S_0N_{NH}$  und  $S_0N_{SSD}$ ) untersucht. In  $S_0$  ( $r^2 = 0,030$ ) und  $S_0N_{SSD}$  ( $r^2 = 0,044$ ) konnte



**Abbildung 23:** Zusammenhang von Sprachverständnis in Ruhe und Sprachverständnis im Störgeräusch in  $S_0N_{NH}$ . Die Ergebnisse im Oldenburger Satztest in der Bedingung  $S_0N_{NH}$  (Sprache von vorne und Störgeräusch von der normalhörigen Seite, Angaben in dB Signal-Rausch-Verhältnis) wurden gegen das Ergebnis im Freiburger Sprachtest (Einsilber 65 dB, Angaben in Prozent richtige Antworten) aufgetragen. Ausgewählt wurde jeweils der Wert, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung lag. Die Gleichung der Korrelationsgeraden und das  $r^2$  sind links oben abgebildet.

keine signifikante Regression zwischen dem Sprachverständnis in Ruhe und der

Sprachverständnisschwelle ( $S_0$ ) beziehungsweise dem Sprachverständnis im Störgeräusch in  $S_0N_{SSD}$  nachgewiesen werden. In  $S_0N_0$  ( $r^2 = 0,072$ ) fand sich ein Trend ( $p = 0,015$ ,) für den Zusammenhang zwischen Sprachverständnis in Ruhe und Sprachverständnis im Störgeräusch.

In Abbildung 23 wurde der 12 Monatswert der Patienten in der Messbedingung  $S_0N_{NH}$  (Sprache von vorne und Störgeräusch von der normalhörigen Seite) gegen das Sprachverständnis in Ruhe aufgetragen (Einsilber 65 dB nach 12 Monaten). Das  $r^2$  lag bei 0,159. In dieser Messbedingung war der Zusammenhang zwischen dem Sprachverständnis in Ruhe und dem Sprachverständnis im Störgeräusch hoch-signifikant ( $p < 0,001$  (bivariate Anpassung, Varianzanalyse)).

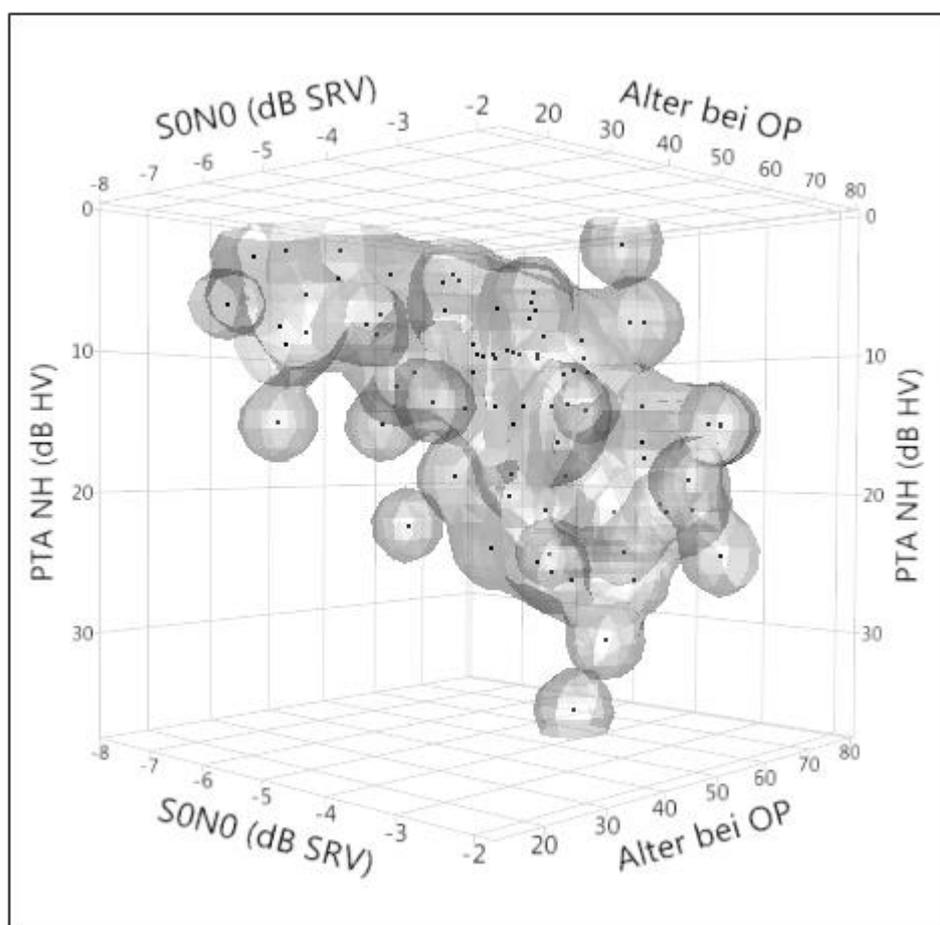
#### **3.1.4.5 Einfluss des Alters auf das Sprachverständnis im Störgeräusch**

In allen vier Messbedingungen des Oldenburger Satztests fand sich ein signifikanter Zusammenhang (bivariate Anpassung, Varianzanalyse) der Ergebnisse der Patienten mit deren Alter ( $S_0$   $p = 0,0042$ ;  $S_0N_0$   $p < 0,0001$ ;  $S_0N_{SSD}$   $p = 0,0073$ ;  $S_0N_{NH}$   $p = 0,0002$ ). Ein geringeres Alter war in allen vier Messbedingungen mit einem besseren Hörergebnis (niedrigere Sprachverständnisschwelle in  $S_0$  und größeres Signal-Rausch-Verhältnis im Störgeräusch) assoziiert.

#### **3.1.4.6 Einfluss des Tonhörvermögens des normalhörigen Ohres auf das Sprachverständnis im Störgeräusch**

Im Oldenburger Satztest wird die Sprachverständnisschwelle in Ruhe gemessen. Diese hing in der vorliegenden Studie signifikant (bivariate Anpassung, Varianzanalyse) mit dem PTA (pure-tone average, Mittelwert der Frequenzen

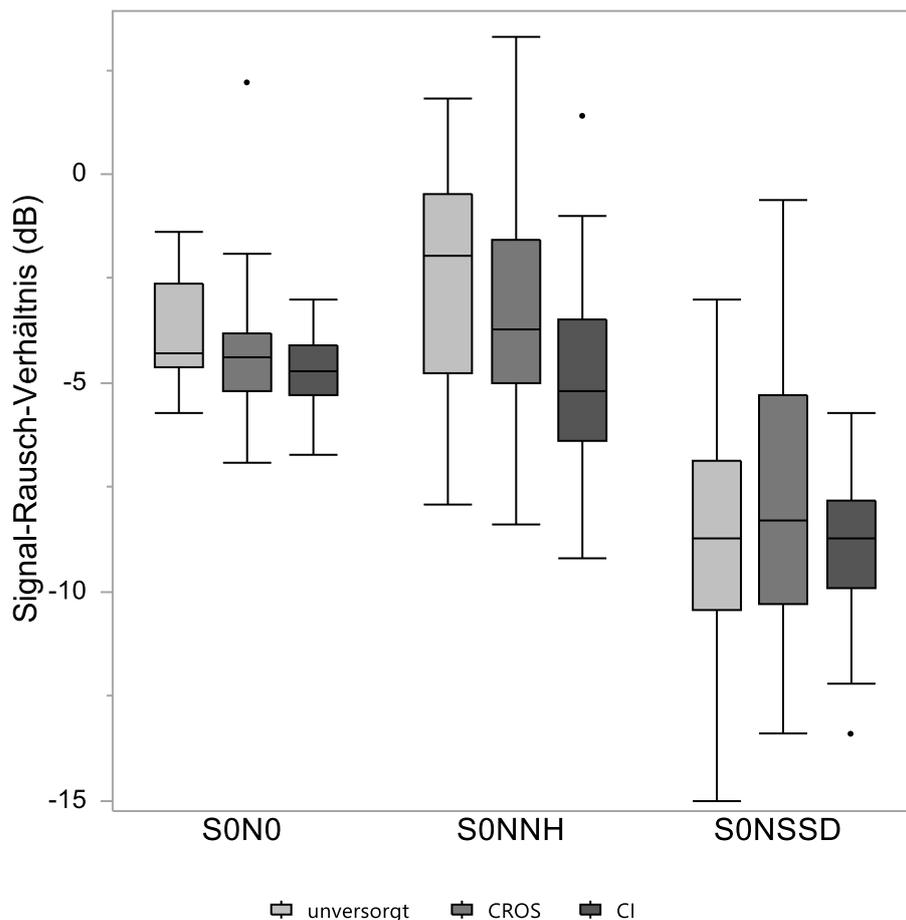
0,5; 1; 2 und 4 kHz) zusammen ( $p < 0,0001$ ). In  $S_0N_0$  ( $p < 0,0001$ ) und  $S_0N_{NH}$  ( $p = 0,0041$ ) ließ sich ebenfalls ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem PTA des normalhörigen Ohres und dem Signal-Rausch-Abstand im Störgeräusch nachweisen. In der Messbedingung  $S_0N_{SSD}$  lag der p-Wert bei 0,1780. Der Zusammenhang zwischen Alter, Tonhörvermögen der normalhörigen Seite (PTA) und dem Hörergebnis im Störgeräusch mit CI ( $S_0N_0$ ) wurde in Abbildung 24 dargestellt. Es zeigte sich, dass ein höheres Alter mit einer schlechteren PTA assoziiert war. Ein hohes Alter und ein hoher PTA wirkten sich negativ auf das Hören im Störgeräusch (in der Grafik  $S_0N_0$ ) aus.



**Abbildung 24:** Zusammenhang von Sprachverständnis im Störgeräusch ( $S_0N_0$ ), Reintonaudiometrie des normalhörigen Ohres und Alter bei OP. Verwendet wurde der PTA (pure-tone average, Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz der letzten präoperativen Reintonaudiometrie (dB Hörverlust)) und der  $S_0N_0$  Wert (dB Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)), der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung lag. Die Werte wurden in einem 3D-Diagramm abgebildet. Gute Ergebnisse in  $S_0N_0$  waren mit einer niedrigen PTA und einem niedrigen Alter assoziiert.

### 3.1.4.7 Vergleich des Sprachverständnis im Störgeräusch bei CROS- Versorgung und CI-Versorgung

Von 27 Patienten aus Gruppe A und B lag ein Oldenburger Satztest in unversorgtem Zustand, mit contralateral routing of the signals (CROS) und nach der Versorgung mit Cochlea Implantat vor. Auf eine Unterteilung in die Gruppen A und B wurde verzichtet, da keine Unterschiede im Sprachverständnis im



**Abbildung 25:** Ergebnisse des Oldenburger Satztests in den Messbedingungen S<sub>0</sub>N<sub>0</sub>, S<sub>0</sub>N<sub>SSD</sub> und S<sub>0</sub>N<sub>NH</sub> ohne Hörgerät, mit contralateral routing of the signals (CROS) und Cochlea-Implantat (CI). Von 27 Patienten aus Gruppe A und B lagen Messergebnisse in allen drei Bedingungen vor. Als Messwert mit Cochlea-Implantat wurde der Wert gewählt, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung lag. Die Ergebnisse sind in Box-Whisker-Plots dargestellt.

Störgeräusch nachgewiesen werden konnten (vgl. 3.1.4.1). In der Grafik werden die Werte in den drei Messbedingungen S<sub>0</sub>N<sub>0</sub>, S<sub>0</sub>N<sub>NH</sub> und S<sub>0</sub>N<sub>SSD</sub> dargestellt. Als Messwert mit CI wurde der Wert gewählt, der am nächsten am Zeitpunkt 12

Monate nach der Erstanpassung lag. Unversorgt erreichten die Patienten im Median einen Signal-Rausch-Abstand von -4,3 dB, wenn Sprache und Störgeräusch von vorne kamen. Mit CROS-Hörgerät verbesserte sich dieser Wert auf -4,4 dB SRV. Mit CI erreichten die Patienten die besten Werte, der Median lag bei -4,7 dB SRV.

In der Messbedingung  $S_0N_{NH}$  (Sprache von vorne, Störgeräusch von der normalhörigen Seite) verbesserte sich das Sprachverständnis durch ein CROS-Hörgerät im Median von -1,95 dB SRV (unversorgt) auf -3,7 dB SRV. Durch die CI-Versorgung konnte eine weitere Verbesserung auf einen Wert von -5,2 dB SRV erreicht werden.

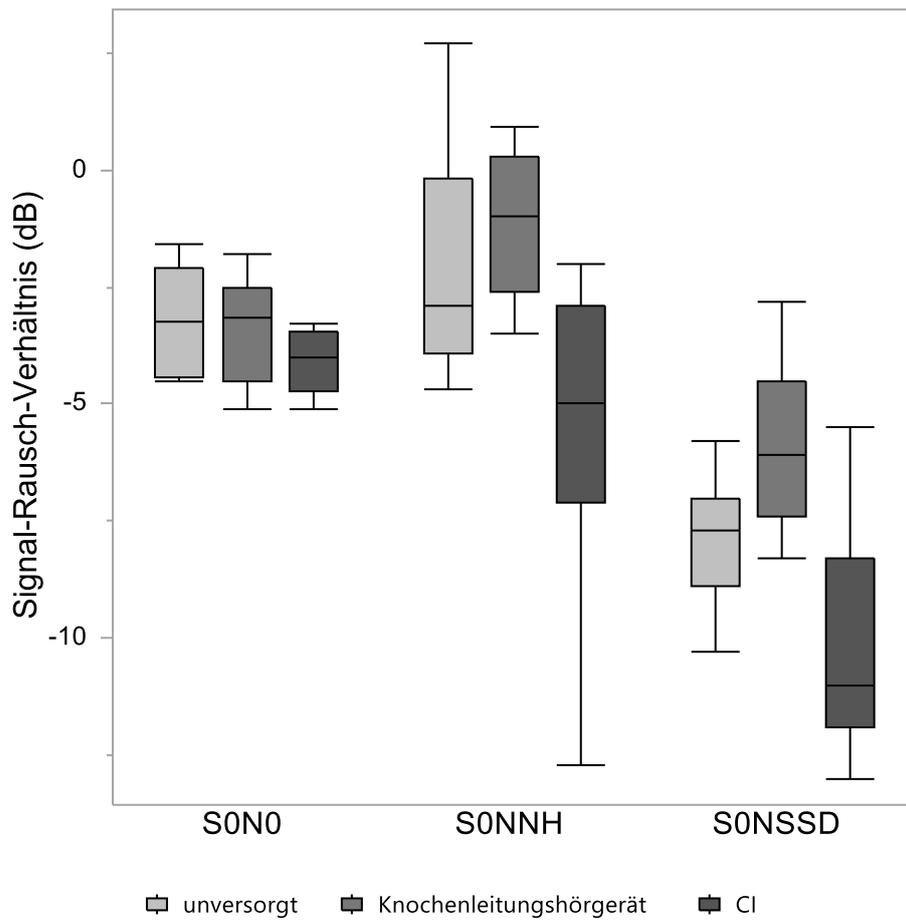
Kam die Sprache von vorne und das Störgeräusch von der ertaubten Seite ( $S_0N_{SSD}$ ), dann erreichten die Patienten unversorgt ein medianes Signal-Rausch-Verhältnis von -8,7 dB. Dieses verschlechterte sich mit CROS Hörgerät auf einen Wert von -8,3 dB. Nach der CI-Versorgung erreichten die Patienten im Median denselben Wert, den sie unversorgt erreicht hatten (-8,7 dB SRV).

Im Wilcoxon-Vorzeichenrangtest ließ sich eine signifikante Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch in den Messbedingungen  $S_0N_0$  ( $p = 0,0087$ ) und  $S_0N_{NH}$  ( $p = 0,0058$ ) durch die CI-Versorgung im Vergleich zum unversorgten Zustand nachweisen. Die Verbesserung durch das CROS im Vergleich zum unversorgten Zustand war in  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  nicht signifikant. Ebenfalls nicht signifikant war die Verbesserung durch die CI-Versorgung im Vergleich zur CROS-Versorgung in  $S_0N_0$ . In der Messbedingung  $S_0N_{NH}$  war die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses durch die CI-Versorgung im Vergleich zur CROS-Versorgung signifikant ( $p = 0,0359$ ).

### 3.1.4.8 Vergleich des Sprachverständnis im Störgeräusch bei Knochenleitungshörgerät und CI-Versorgung

In Gruppe A und Gruppe B absolvierten insgesamt 8 Patienten eine Messung im unversorgten Zustand, mit Knochenleitungshörgerät und mit CI. Einer dieser 8 Patienten wurde nur in der Messbedingung  $S_0N_0$  gemessen. Die Ergebnisse mit Knochenleitungshörgerät waren in allen drei Messbedingungen im Störgeräusch schlechter, als die Ergebnisse im unversorgten Zustand. Im Median erreichten die Patienten in  $S_0N_0$  unversorgt ein Sprachverständnis von 50% bei einem Signal-Rausch-Abstand von -3,25 dB, mit Knochenleitungshörgerät lag dieser Wert im Median bei -3,15 dB SRV. In der Messbedingung  $S_0N_{NH}$  erreichten die Patienten unversorgt einen medianen Signal-Rausch-Abstand von -2,9 dB. Mit Knochenleitungshörgerät lagen sie im Median bei -1 dB SRV. Kam die Sprache von vorne und das Störgeräusch von der ertaubten Seite ( $S_0N_{SSD}$ ), dann erreichten die Patienten mit Knochenleitungshörgerät einen medianen Wert von -6,1 dB SRV (unversorgt -7,7 dB SRV). Mit Cochlea-Implantat erreichten die Patienten im Median in allen Messbedingungen das beste Ergebnis. In  $S_0N_0$  lag es bei -4 dB SRV, in  $S_0N_{NH}$  bei -5 dB SRV und in  $S_0N_{SSD}$  bei -11 dB SRV.

Die Ergebnisse im unversorgten Zustand, mit Knochenleitungshörgerät und mit Cochlea-Implantat wurden mit dem Wilcoxon-Vorzeichenrangtest auf signifikante Unterschiede geprüft. Es fand sich in  $S_0N_0$  kein signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Versorgungen. In  $S_0N_{NH}$  fand sich eine signifikante ( $p = 0,0489$ ) Überlegenheit der CI-Versorgung über den unversorgten Zustand. Im Vergleich mit dem Knochenleitungshörgerät war die CI-Versorgung signifikant besser ( $p = 0,0065$ ). In der Messbedingung  $S_0N_{SSD}$  fand sich eine signifikante ( $p = 0,0407$ ) Verschlechterung des Hörergebnisses durch die Versorgung mit einem Knochenleitungshörgerät im Vergleich zum unversorgten Zustand. Die CI-Versorgung war der Versorgung mit einem Knochenleitungshörgerät signifikant überlegen ( $p = 0,0077$ ).



**Abbildung 26:** Ergebnisse des Oldenburger Satztests in den Messbedingungen  $S_0N_0$ ,  $S_0N_{SSD}$  und  $S_0N_{NH}$  ohne Hörgerät, mit Knochenleitungshörgerät und Cochlea Implantat (CI). Von 8 Patienten aus Gruppe A und B lagen Messergebnisse in der Bedingung  $S_0N_0$  vor, in  $S_0N_{NH}$  und  $S_0N_{SSD}$  lagen Messwerte von 7 Patienten vor. Als Messwert mit Cochlea-Implantat wurde der Wert gewählt, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung lag.

### **3.1.5 Ergebnisse der erhobenen Fragebögen**

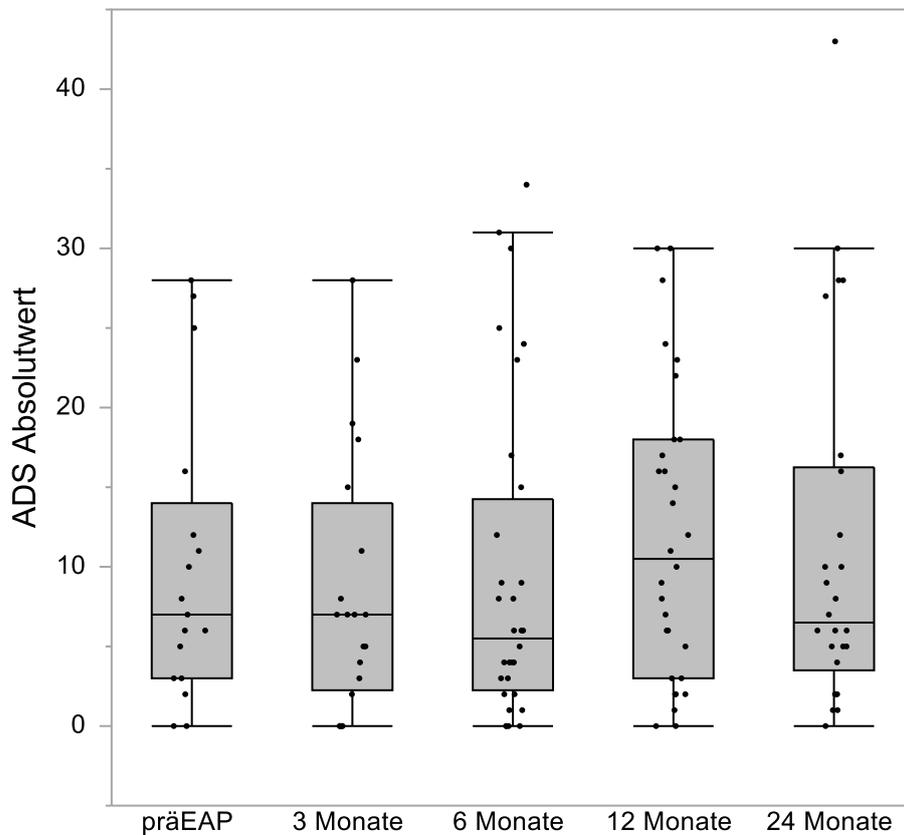
#### **3.1.5.1 Allgemeine Depressionsskala**

Von 16 Patienten lag eine Allgemeine Depressionsskala vor, die vor der Erstanpassung erhoben wurde. 60 Patienten (10 mit Messung vor Erstanpassung) wurden mindestens einmal nach der Erstanpassung gemessen. Die Erhebung der ADS erfolgte bei allen Patienten im Rahmen ihrer Rehabilitation.

##### **3.1.5.1.1 Verlauf der Ergebnisse der ADS**

In Abbildung 27 findet sich der Verlauf der Allgemeinen Depressionsskala über die ersten 24 Monate nach der Erstanpassung. Angegeben ist der Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala vor Erstanpassung (präEAP) sowie 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung. Auf eine Unterteilung der Werte in Gruppe A und Gruppe B wurde verzichtet, da sich im Mann-Whitney-U-Test 12 Monate nach der Erstanpassung kein Unterschied zwischen beiden Gruppen fand ( $p = 0,943$ ).

Der mediane Absolutwert lag vor der Erstanpassung bei 7,5. Nach 3 Monaten wurde im Median ein Wert von 7 erreicht. 6 Monate nach der Erstanpassung lag der mediane Absolutwert der ADS bei 6. Der höchste mediane Wert der Allgemeinen Depressionsskala (11) lag nach 12 Monaten vor. 24 Monate nach der Erstanpassung lagen die Patienten im Median bei einem Absolutwert von 6,5. Es ließ sich weder eine positive, noch eine negative Entwicklung des Absolutwertes der Allgemeinen Depressionsskala feststellen.



**Abbildung 27:** Verlauf des Absolutwertes der Allgemeinen Depressionsskala. Angegeben wurde der Absolutwert der Depressionsskala vor Erstanpassung (präEAP) sowie 3, 6, 12 und 24 Monate nach Erstanpassung. Die Daten wurden in Box-Whisker-Plots angegeben, wobei die einzelnen Messwerte zusätzlich als Punkte dargestellt wurden. Es fand sich im Verlauf nach der Erstanpassung keine Veränderung des Absolutwertes der ADS.

Eine statistische Analyse erfolgte mit den vor der Erstanpassung erhobenen Werten und den Werten, die am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung lagen. Im Wilcoxon-Vorzeichenrangtest fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Zeitpunkten ( $p = 0,8632$ ). Zum Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung wiesen 12 der 59 Patienten (20%) einen auffälligen Absolutwert ( $>17$ ) in der ADS auf.

### **3.1.5.1.2 Einfluss des Sprachverständnisses in Ruhe und im Störgeräusch auf die Ergebnisse der ADS**

Der Absolutwert, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung lag, wurde ausgewählt. Von 59 Patienten aus Gruppe A und Gruppe B lag ein Absolutwert nach der Erstanpassung vor. Auf dieselbe Weise wurde ein 12-Monatswert von Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65dB, richtige Antworten in Prozent) und Oldenburger Satztest ( $S_0N_0$ , dB Signal-Rausch-Verhältnis) bestimmt.

Eine Korrelation zwischen Sprachverständnis in Ruhe (Freiburger Sprachtest) und Absolutwert der ADS konnte nicht nachgewiesen werden. Der Korrelationskoeffizient (Spearman's  $\rho$ ) lag bei -0,0231.

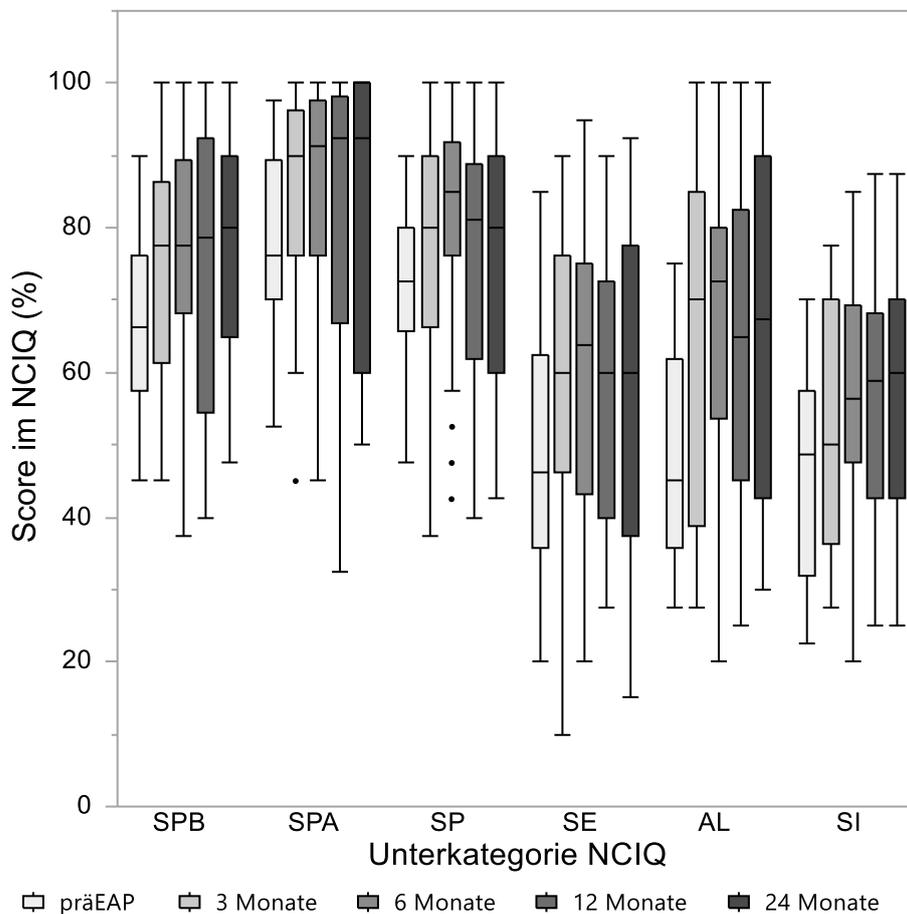
Das Sprachverständnis im Störgeräusch korrelierte ebenfalls nicht mit dem Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala. Es fand sich ein Korrelationskoeffizient (Spearman's  $\rho$ ) von -0,0275.

### **3.1.5.2 Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire**

Der Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire (NCIQ) wurde in der vorliegenden Studie verwendet, um die Lebensqualität der Patienten vor CI-Versorgung und im postoperativen Verlauf zu messen. Angegeben wurden die sechs erfassten Unterkategorien basale Sprachwahrnehmung (SPB), erweiterte Schallwahrnehmung (SPA), Sprachproduktion (SP), Selbsteinschätzung (SE), Aktivität (AL) und soziale Interaktion (SI). Von 16 Patienten lag ein NCIQ Fragebogen vor, der vor der Erstanpassung erhoben wurde (5 dieser Patienten wurden postoperativ nicht gemessen). Insgesamt 60 Patienten führten den NCIQ mindestens einmal nach Versorgung mit einem Cochlea-Implantat durch.

### 3.1.5.2.1 Verlauf der Ergebnisse des NCIQ

Der Verlauf der einzelnen Unterkategorien des NCIQs wurde in Abbildung 28 dargestellt. Auf eine Unterteilung der Messwerte in Gruppe A und Gruppe B wurde in Abbildung 28 verzichtet, da sich die Summe aller Unterkategorien des NCIQs der beiden Gruppen nicht signifikant unterschieden (Mann-Whitney-U-Test,  $p = 0,8402$ ).



**Abbildung 28:** Verlauf der Ergebnisse des Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ). Dargestellt wurden die Unterkategorien grundlegende Schallwahrnehmung (SPB), erweiterte Schallwahrnehmung (SPA), Sprachproduktion (SP), Selbsteinschätzung (SE), Aktivität (AL) und soziale Interaktion (SI) in Prozent. Die Messzeitpunkte waren präEAP (vor der Erstanpassung des Sprachprozessors) und 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung des Sprachprozessors. Die Ergebnisse wurden in Box-Whisker-Plots dargestellt. In allen Unterkategorien lag der mediane Wert nach Erstanpassung zu jedem Zeitpunkt über dem medianen Wert im unversorgten Zustand (präEAP).

Die Ergebnisse wurden in die Zeiträume vor der Erstanpassung (präEAP) sowie

3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung eingeteilt. Der mediane Wert lag in allen Unterkategorien nach der Erstanpassung über dem medianen Wert vor der Erstanpassung (präEAP). In den Unterkategorien basale Schallwahrnehmung (SPB), erweiterte Schallwahrnehmung (SPA), Sprachproduktion (SP) und Selbsteinschätzung (SE) ließ sich vom Zeitpunkt 3 Monate nach der Erstanpassung bis zum Zeitpunkt 24 Monate nach der Erstanpassung kein Verlauf erkennen. Die Ergebnisse in der Unterkategorie Aktivität (AL) waren nach 3 und 6 Monaten im Median besser als nach 12 und 24 Monaten. In der Unterkategorie soziale Interaktion (SI) stieg der Median in den ersten 12 Monaten an. Die statistische Analyse der Daten aus dem NCIQ erfolgte mit den vor der Erstanpassung erhobenen Fragebögen (n = 16) und den Fragebögen, die am nächsten zum Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung ausgefüllt wurden (n=60). In Tabelle 23 wurden Median, Minimum und Maximum der erhobenen Werte dargestellt. Die zwei Messungen der einzelnen Unterkategorien sowie die Gesamtsumme des NCIQ wurden mit dem Mann-Whitney U-Test statistisch analysiert. Die errechneten p-Werte wurden in Tabelle 23 in der rechten Spalte wiedergegeben. In der Unterkategorie Aktivität und in der Gesamtsumme der Unterkategorien des NCIQs fand sich eine signifikante Verbesserung der Ergebnisse durch die CI-Versorgung. Der p-Wert der Unterkategorien basale Schallwahrnehmung, erweiterte Schallwahrnehmung und Selbsteinschätzung lag leicht über 0,05.

In Tabelle 24 finden sich die Ergebnisse der Patienten aus Gruppe C. Angegeben wurden die Ergebnisse der Untergruppen 2 bis 5. Die Ergebnisse der Patienten ohne ausreichende Sprachkenntnisse wurden nicht angegeben. Der Patient in Untergruppe 6 absolvierte keine Fragebögen. Angegeben wurden die 6 Unterkategorien des NCIQ, die Summe aller Unterkategorien, der Messzeitpunkt und der zeitgleich erhobene Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala.

**Tabelle 23:** Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ) vor der Erstanpassung und 12 Monate nach der Erstanpassung. Der Median, das Minimum und das Maximum der Unterkategorien grundlegende Schallwahrnehmung (SPB), erweiterte Schallwahrnehmung (SPA), Sprachproduktion (SP), Selbsteinschätzung (SE), Aktivität (AL) und soziale Interaktion (SI) in Prozent sowie die Summe der Unterkategorien wurden angegeben. Angegeben wurden die Werte vor der Erstanpassung (präEAP) und der am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung am nächsten gelegene Wert. Mit dem Mann-Whitney U-Test (Normal Aproximation) wurden die in der rechten Spalte dargestellten Signifikanzen berechnet. In der Unterkategorien Aktivität sowie in der Gesamtsumme des NCIQ fand sich ein p-Wert von <0,05.

<b>Unterkategorie</b>	<b>Zeitpunkt</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Signifikanz</b>
					p- Wert
<b>SPB - basale Schallwahrnehmung</b>	präEAP	66,25	90	45	0,0533
	12 Monate	77,5	32,5	100	
<b>SPA – erweiterte Schallwahrnehmung</b>	präEAP	76,25	52,5	97,5	0,0533
	12 Monate	90	32,5	100	
<b>SP- Sprachproduktion</b>	präEAP	72,5	47,5	90	0,1928
	12 Monate	81,25	32,5	100	
<b>SE - Selbsteinschätzung</b>	präEAP	46,25	20	85	0,0691
	12 Monate	61,25	15	95	
<b>AL - Aktivität</b>	präEAP	45	27,5	75	0,0250
	12 Monate	63,75	15	100	
<b>SI – soziale Interaktion</b>	präEAP	48,75	22,5	70	0,1548
	12 Monate	55	17,5	87,5	
<b>Gesamtsumme NCIQ</b>	präEAP	363,7	235	490	0,0344
	12 Monate	436,25	152,5	567,5	

In Untergruppe 2 (Fibrosierung der Cochlea) lag von allen Patienten mindestens ein erhobener NCIQ vor. Von Patient 2-1 lagen Ergebnisse von den Zeitpunkten 12, 24 und 36 Monate nach der Erstanpassung vor. Die Ergebnisse des NCIQs waren nach 24 und 36 Monaten im Vergleich zu der Messung nach 12 Monaten in allen Unterkategorien verbessert. Der Absolutwert der ADS fiel von 5 über 4 auf den Wert 0 und war zu allen Zeitpunkten unauffällig (<18). Patient 2-2 absolvierte nur präoperativ den NCIQ und die ADS. Von Patient 2-3 lagen Werte vom Zeitpunkt 6 Monate nach der Erstanpassung vor, weshalb keine Aussage über eine Veränderung im NCIQ getroffen werden kann. Der Absolutwert der ADS war unauffällig. Patient 2-4 absolvierte den NCIQ und die ADS 3 und 6 Monate nach seiner Erstanpassung. In allen Unterkategorien des NCIQs kam es zu einer Verschlechterung der Werte im Verlauf. In der ADS stieg der Absolutwert von 5 auf 13, wurde aber nicht auffällig.

Die Untergruppe 3 umfasst drei Patienten mit intracochleärem Schwannom. Von Patient 3-1 lagen Werte vor, die 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung erhoben wurden. Die Gesamtsumme des NCIQs lag bei 317,5 und 300 und damit eher niedrig. Der Absolutwert der ADS lag bei 27 (12 Monate) und 23 (24 Monate) und war in beiden Messungen auffällig (>17). Patient 3-2 absolvierte vor der Erstanpassung sowie 3 und 12 Monate nach der Erstanpassung den NCIQ und die ADS. Im NCIQ fand sich eine leichte Verbesserung der Gesamtsumme aller Unterkategorien. Der initial auffällige Absolutwert in der ADS (21) fiel nach der CI-Versorgung auf unauffällige Werte. Patient 3-3 wurde vor der Erstanpassung sowie 3 und 6 Monate nach der Erstanpassung gemessen. In beiden Messungen nach der Erstanpassung lag die Gesamtsumme des NCIQ höher als vor der Erstanpassung. Die Verbesserung fand insbesondere in den Unterkategorien Selbsteinschätzung und soziale Interaktion statt. In der ADS war der Absolutwert zu jedem Zeitpunkt unauffällig.

In der Untergruppe 4, in der Patienten zusammengefasst wurden, die nach einer Resektion eines Vestibularisschwannoms ertaubt sind, lagen von einem Patienten Fragebögen vor. Patient 4-1 absolvierte nach 24 und 36 Monaten den NCIQ sowie nach 24 Monaten die ADS. Der Absolutwert der ADS lag bei 23 und war damit auffällig. Im NCIQ lag die Gesamtsumme der Unterkategorien nach 24 Monaten bei 327,5 und nach 36 Monaten bei 372,5. Außer in den Unterkategorien basale Schallwahrnehmung (leichte Verschlechterung) und Sprachproduktion (gleichbleibend) fand sich in allen anderen Unterkategorien eine Verbesserung.

**Tabelle 24:** Verlauf der Ergebnisse des Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ) in Gruppe C. Dargestellt wurden die Unterkategorien grundlegende Schallwahrnehmung (SPB), erweiterte Schallwahrnehmung (SPA), Sprachproduktion (SP), Selbsteinschätzung (SE), Aktivität (AL) und soziale Interaktion (SI) in Prozent. Zusätzlich wurde die Summe aller Unterkategorien (Summe NCIQ), der Messzeitpunkt (vor Erstanpassung (präEAP) und n Monate nach Erstanpassung) und der zugehörige Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala (ADS) angegeben. Untergruppe 1 (keine ausreichenden Deutschkenntnisse) wurde nicht angegeben.

Pat.-Nr.	SPB	SPA	SP	SE	AL	SI	Summe NCIQ	Zeitpunkt	Absolutwert ADS
2-1	75	97,5	77,5	62,5	77,5	65	455	12 Monate	5
2-1	77,5	100	85	90	95	77,5	525	24 Monate	4
2-1	85	97,5	97,5	87,5	87,5	80	535	36 Monate	0
2-2	75	92,5	67,5	62,5	62,5	65	425	präEAP	9
2-3	62,5	92,5	62,5	75	72,5	62,5	427,5	6 Monate	4
2-4	77,5	87,5	67,5	82,5	87,5	85	487,5	3 Monate	5
2-4	70	72,5	57,5	72,5	77,5	70	420	6 Monate	13
3-1	52,5	70	62,5	37,5	45	50	317,5	12 Monate	27
3-1	45	67,5	52,5	42,5	45	47,5	300	24 Monate	23
3-2	60	75	60	50	57,5	40	342,5	präEAP	21
3-2	60	87,5	70	47,5	62,5	42,5	370	3 Monate	10
3-2	52,5	70	72,5	50	60	47,5	352,5	12 Monate	16
3-3	77,5	82,5	80	42,5	67,5	47,5	397,5	präEAP	8
3-3	92,5	97,5	80	65	65	60	460	3 Monate	10
3-3	95	100	90	62,5	72,5	75	495	6 Monate	4
4-1	82,5	70	67,5	37,5	32,5	37,5	327,5	24 Monate	23
4-1	80	87,5	67,5	47,5	45	45	372,5	36 Monate	
5-1	70	97,5	75	60	47,5	42,5	392,5	präEAP	3
5-1	82,5	97,5	65	75	77,5	85	482,5	3 Monate	7
5-1	60	82,5	67,5	70	80	77,5	437,5	6 Monate	3
5-1	72,5	97,5	77,5	82,5	77,5	75	482,5	12 Monate	0
5-2	55	65	60	70	55	52,5	357,5	24 Monate	
5-3	65	75	77,5	60	57,5	65	400	36 Monate	14
5-3	65	92,5	70	55	57,5	52,5	392,5	48 Monate	20
5-4	60	72,5	62,5	22,5	15	17,5	250	3 Monate	
5-4	65	70	67,5	22,5	35	25	285	6 Monate	11
5-4	67,5	72,5	52,5	27,5	25	20	265	12 Monate	14
5-4	65	77,5	50	20	25	30	267,5	24 Monate	9

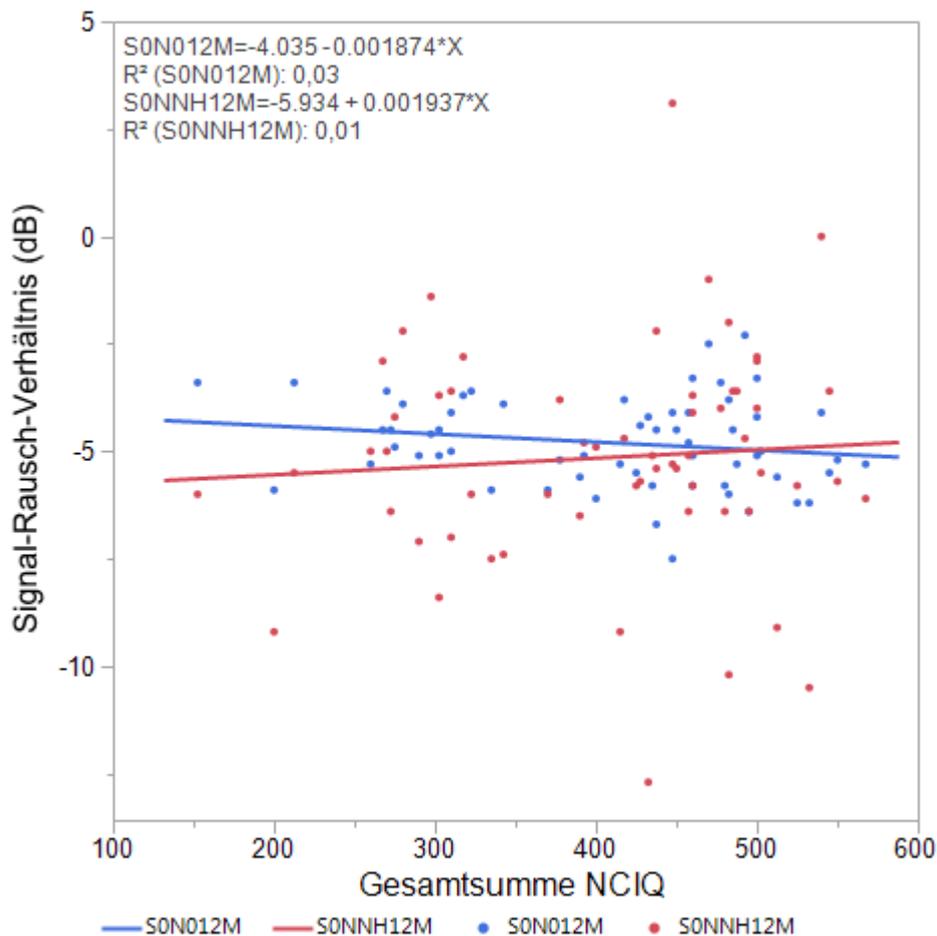
Untergruppe 5 umfasst die Patienten, die aufgrund eines zu guten Resthörvermögens (PTA <70 dB Hörverlust) aus Gruppe A und B ausgeschlossen wurden. Von allen Patienten lagen Ergebnisse des NCIQs und der ADS vor. Von Patient 5-1 lagen Ergebnisse vor, die vor der Erstanpassung

sowie 3, 6 und 12 Monate nach der Erstanpassung erhoben wurden. Zu jedem Zeitpunkt fand sich in der Gesamtsumme eine Verbesserung der Werte. Die Verbesserung entstand insbesondere durch eine Verbesserung der Werte in den Unterkategorien Selbsteinschätzung, Aktivität und soziale Interaktion. In den anderen drei Unterkategorien fand sich nach 3 Monaten nur eine kleine (2,5%) oder keine Veränderung. Die Werte der ADS waren zu jedem Zeitpunkt unauffällig. Patient 5-2 führte einmalig nach 24 Monaten den NCIQ durch. Die Werte waren in den Unterkategorien basale Schallwahrnehmung und erweiterte Schallwahrnehmung eher niedrig. Von Patient 5-3 lagen zwei Messungen im Langzeitverlauf (36 und 48 Monate nach der Erstanpassung) vor. Die Gesamtsumme des NCIQ unterschied sich kaum. In der ADS stieg der Absolutwert vom unauffälligen (14) in den auffälligen (20) Bereich. Patient 5-4 absolvierte den NCIQ 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Erstanpassung. Die Gesamtsumme aller Unterkategorien war in allen vier Messungen niedrig und lag bei maximal 285 nach 6 Monaten. Die Ergebnisse in den Unterkategorien Selbsteinschätzung, Aktivität und soziale Interaktion waren deutlich niedriger als die Angabe der anderen Patienten aus der Untergruppe 5. Der Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala war nach 6, 12 und 24 Monaten nicht auffällig und lag maximal bei 14.

#### **3.1.5.2.2 Einfluss des Sprachverständnis in Ruhe und im Störgeräusch auf die Ergebnisse des NCIQs**

Die am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung gelegene Messung des Sprachverständnisses im Störgeräusch (Oldenburger Satztest,  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$ ) und in Ruhe (Freiburger Sprachtest, Einsilber 65 dB) sowie des NCIQs wurden ausgewählt. Anschließend wurde mit den erhaltenen Werten eine Regressionsanalyse durchgeführt.

Es ließ sich keine relevante Regression zwischen dem Sprachverständnis in Ruhe und den Ergebnissen des NCIQ finden ( $r^2 = 0,009$ ).



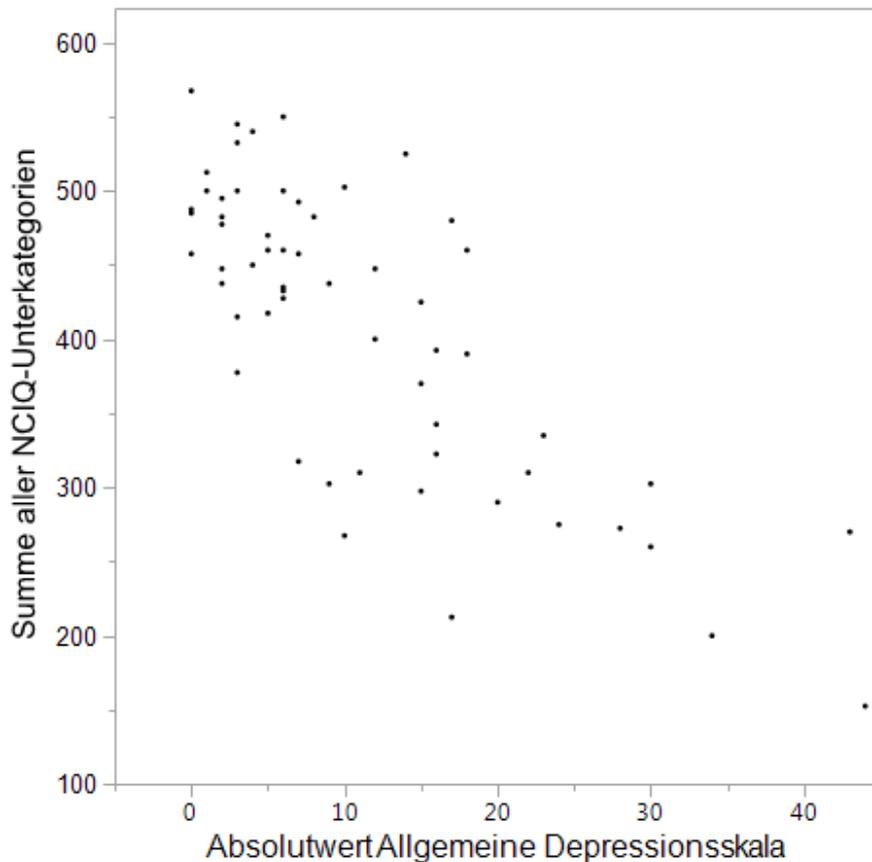
**Abbildung 29:** Abhängigkeit der Summe aller NCIQ Unterkategorien vom Sprachverständnis im Störgeräusch. Die Ergebnisse des NCIQ, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung ausgefüllt wurde, wurden ausgewählt und gegen die Ergebnisse des Oldenburger Satztests in den Messbedingungen  $S_0N_0$  (blau) und  $S_0N_{NH}$  (rot) in dB Signal-Rausch-Verhältnis in einer Regressionsanalyse untersucht. Die Formel der eingeblendeten Regressionsgeraden und der Determinationskoeffizient  $R^2$  finden sich oben links im Diagramm. Es fand sich keine signifikante Regression zwischen Hörergebnis im Störgeräusch und Gesamtsumme aller NCIQ Unterkategorien.

Eine relevante Abhängigkeit der NCIQ Ergebnisse vom Sprachverständnis im Störgeräusch in den Bedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  konnte nicht nachgewiesen werden. Der höchste Regressionskoeffizient ( $r^2 = 0,051$ ) fand sich für die Unterkategorie erweiterte Schallwahrnehmung (SPA) in Abhängigkeit von den Ergebnissen in  $S_0N_{NH}$ . In Abbildung 29 wurden die Ergebnisse der Messbedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  gegen die Gesamtsumme der Unterkategorien des NCIQs aufgetragen. Es fand sich keine signifikante

Regression zwischen dem Hörergebnis im Störgeräusch und den Angaben der Patienten im NCIQ.

### **3.1.5.2.3 Zusammenhang zwischen dem Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala und den Ergebnissen des NCIQs**

In Abbildung 30 wurde der Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala gegen die Summe aller NCIQ Unterkategorien aufgetragen. Ausgewählt wurde jeweils der Wert, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung lag. In den sechs Unterkategorien des NCIQs kann maximal ein Wert von 100 erreicht werden, folglich kann die Summe aller Unterkategorien den Wert 600 nicht überschreiten. Das maximale Ergebnis der Allgemeinen Depressionsskala liegt bei einem Absolutwert von 45, wobei Werte über 17 als auffällig gelten. Insgesamt wiesen 12 Monate nach der Erstanpassung 12 Patienten einen auffälligen Wert in der ADS auf. Im Median erreichten sie eine Summe aller NCIQ Unterkategorien von 282,5. Die 47 in der ADS unauffälligen Patienten erreichten im Median eine Summe aller Unterkategorien des NCIQs von 457,5.



**Abbildung 30:** Korrelation der Summe aller NCIQ Unterkategorien mit dem Absolutwert der ADS. Die Ergebnisse des Fragebogens, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung ausgefüllt wurde, wurden abgebildet. Es wurde die Summe aller Unterkategorien des Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ) gebildet und mit dem Absolutwert der allgemeinen Depressionsskala korreliert. Es fand sich eine Korrelation zwischen Summe der NCIQ Unterkategorien und ADS Absolutwert (Spearman's  $\rho = -0,709$ ). Hohe Werte in der ADS waren mit schlechten Ergebnissen im NCIQ assoziiert.

Abbildung 30 zeigt eine Korrelation zwischen Absolutwert der ADS und der Summe der Unterkategorien des NCIQ (Spearman's  $\rho = -0,709$ ). In Tabelle 25 wurden die Ergebnisse des NCIQs (nächstgelegenen am Zeitpunkt 12 Monate

**Tabelle 25:** Korrelation der Unterkategorien des NCIQs mit dem Absolutwert der ADS. Von den Patienten aus Gruppe A und Gruppe B wurde die Allgemeine Deressioskala (ADS) und der Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire (NCIQ) ausgewählt, die am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung lagen. Die medianen Ergebnisse des NCIQs der nach Absolutwert der ADS in unauffällig (<18) und auffällig (>17) eingeteilten Patienten wurden angegeben. Der Korrelationskoeffizient wurde berechnet. Patienten mit hohen Werten in der ADS erzielen niedrigere Scores in den Unterkategorien des NCIQs.

<b>Unterkategorie NCIQ</b>	<b>ADS unauffällig</b>	<b>ADS auffällig</b>	<b>Korrelationskoeffizient</b>
	Median	Median	Spearman's $\rho$
Basale Fähigkeiten (SPB)	80	57,5	-0,556
Erweiterte Fähigkeiten (SPA)	95	67,5	-0,425
Sprachproduktion (SP)	85	55	-0,631
Selbstwertgefühl (SE)	67,5	32,5	-0,763
Aktivität (AL)	72,5	36,25	-0,749
Soziale Interaktion (SI)	60	42,5	-0,648
Summe NCIQ	457,5	282,5	-0,709

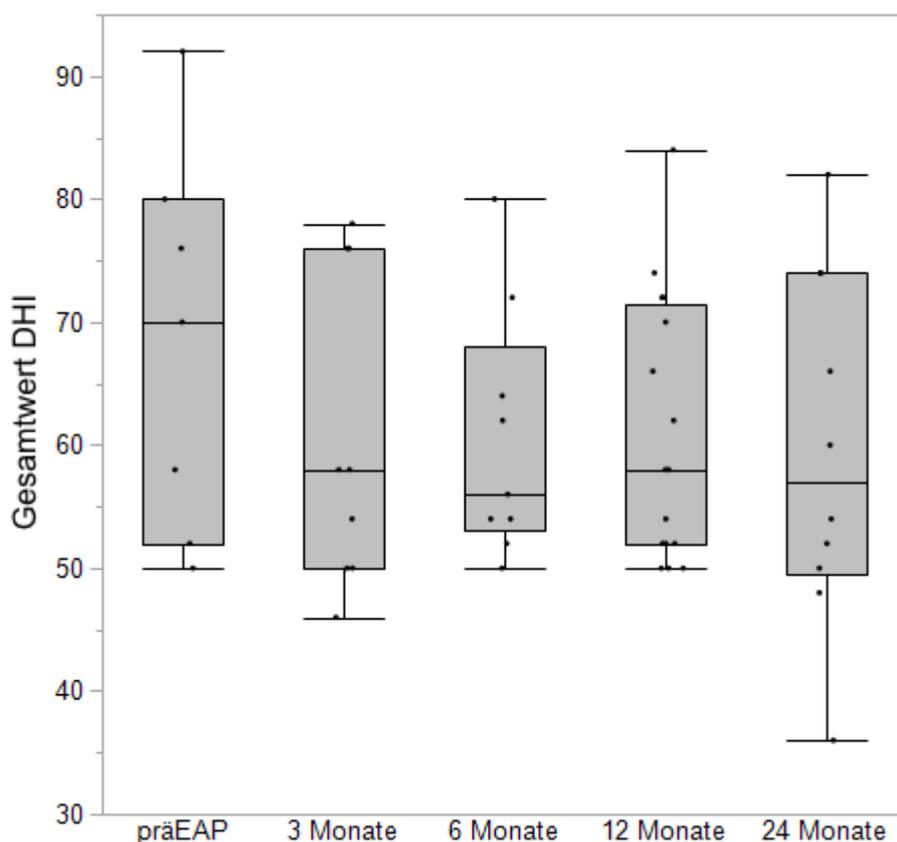
nach der Erstanpassung) nach Absolutwert der ADS (nächstgelegenen am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung) in Patienten mit unauffälligem Absolutwert (<18; n = 47) und Patienten mit auffälligem Absolutwert ( $\geq 18$ , n = 12) Patienten eingeteilt. Angegeben wurde der mediane Score in der jeweiligen Unterkategorie des NCIQs und der Gesamtsumme des NCIQs. In allen Unterkategorien lagen die medianen Werte der Patienten mit auffälliger ADS deutlich unter den medianen Werten der Patienten mit unauffälliger ADS. Die Korrelation zwischen ADS Absolutwert und Score im NCIQ war in allen Unterkategorien vorhanden.

### 3.1.5.3 Dizziness Handicap Inventory

Der Dizziness Handicap Inventory (DHI) dient zur Erfassung von Schwindelbeschwerden. Patienten, die angaben, dass sie unter regelmäßigem Schwindel leiden, füllten den Fragebogen zusätzlich zum NCIQ und zur ADS aus. Ein Verlauf der Werte über die ersten 24 Monate findet sich in Abbildung 31. Angegeben wurde der Gesamtwert, die Summe der Absolutwerte der Unterkategorien physische Beeinträchtigung, emotionale Betroffenheit und

Funktionsstörung. Der mediane Gesamtwert lag präoperativ bei 70. Nach der Cochlea-Implantat-Versorgung lagen sowohl der Median als auch der Maximalwert zu jedem Zeitpunkt unter den Ergebnissen der präoperativ erhobenen Fragebögen. Der Median des Gesamtwertes lag zwischen 55 und 57,5.

Von allen 31 Patienten, die nach der Erstanpassung mindestens einen Dizziness Handicap Inventory ausgefüllt hatten, wurde der Fragebogen ausgewählt, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung



**Abbildung 31:** Verlauf der Ergebnisse des Dizziness Handicap Inventory. Angegeben wurde der Gesamtwert (Summe der Absolutwerte der Unterkategorien physische Beeinträchtigung, emotionale Betroffenheit und Funktionsstörung, Maximalwert 100) vor der Erstanpassung (präEAP) und 3, 6, 12 und 24 Monate nach Erstanpassung. Im Diagramm finden sich die Messwerte als Punkte, die durch ein Box-Whisker-Plot überlagert werden. Der Median des Gesamtwertes lag zu jedem Zeitpunkt nach der Erstanpassung unter dem Wert vor der Erstanpassung und blieb im Verlauf konstant.

erhoben wurde. Der erhaltenen 12-Monatswert dieser 31 Patienten wurde gegen den auf die selbe Weise bestimmten 12-Monatswert der Allgemeinen Depressionsskala aufgetragen. Es fand sich eine Korrelation (Spearman's  $\rho$ )

zwischen den Werten der ADS und des DHI von -0,580. Insgesamt lag von 61 Patienten eine Allgemeine Depressionsskala vor. 12 dieser 61 Patienten (19,7%) erreichten einen auffälligen Absolutwert (>17). Von den 31 Patienten, die einen DHI absolvierten, waren 11 in der Allgemeinen Depressionsskala auffällig (35,5%).

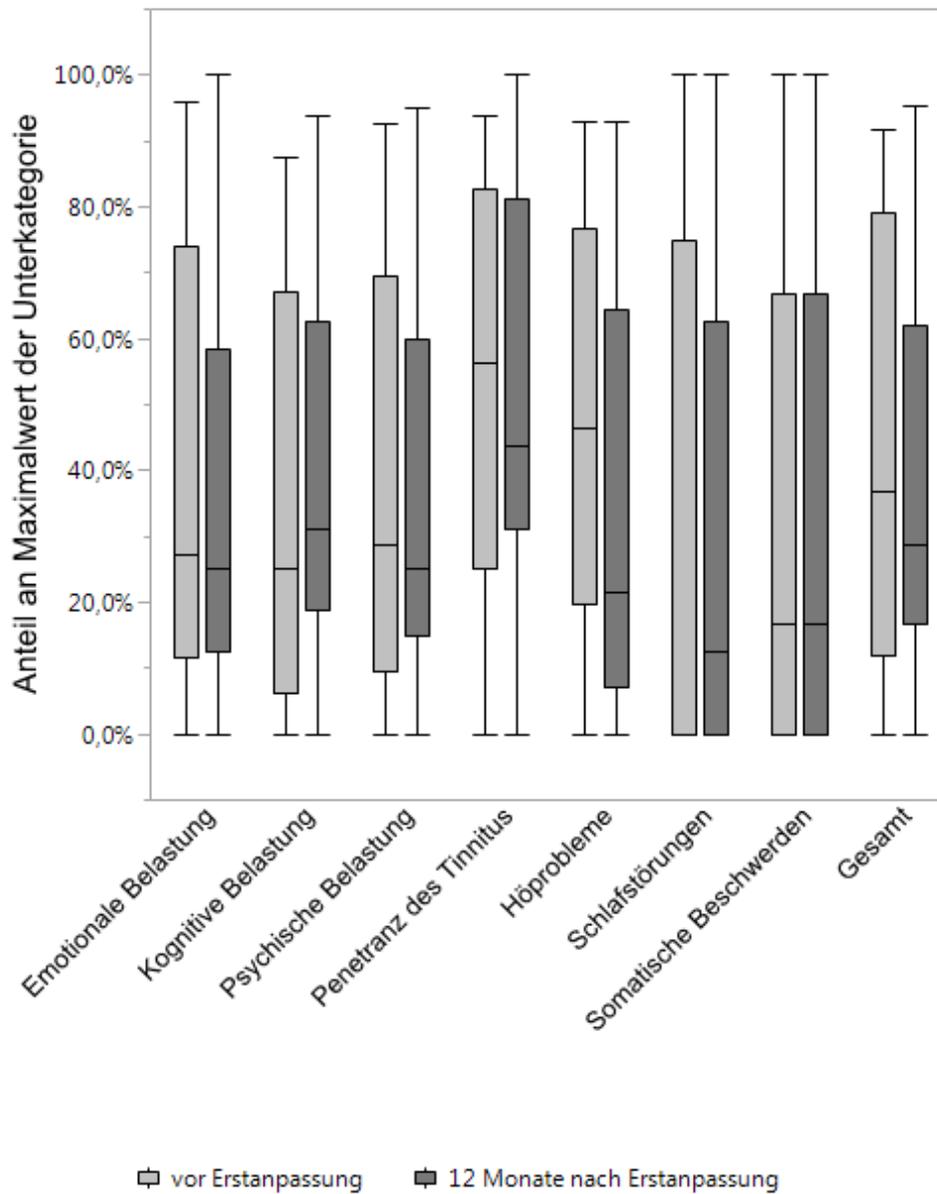
#### **3.1.5.4 Tinnitus-Fragebogen nach Goebel und Hiller**

Der Tinnitus-Fragebogen nach Goebel und Hiller wurde von Patienten ausgefüllt, die zum Messzeitpunkt angaben, dass sie unter regelmäßigem Tinnitus leiden würden. Auf eine Unterteilung in Gruppe A und Gruppe B wurde verzichtet, da sich im Mann-Whitney-U-Test kein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen beider Gruppen nachweisen ließ ( $p = 0,6765$ ). Präoperativ wurden 14 Patienten in Gruppe A und Gruppe B gemessen, nach der Erstanpassung lag von 43 Patienten mindestens ein erhobener Tinnitus-Fragebogen vor.

##### **3.1.5.4.1 Ergebnisse des Tinnitus-Fragebogens nach Goebel und Hiller**

In Abbildung 32 finden sich die präoperativ erhobenen Werte und die Werte der Messungen, die am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung durchgeführt wurden. Um eine übersichtliche Darstellung in einer Grafik zu ermöglichen, wurden die Werte als prozentualer Anteil des Maximalwerts (24, 16, 40, 16, 14, 8, 6 und 84, in der Reihenfolge der Grafik) angegeben, im Text wurden die Absolutwerte verwendet. In der Kategorie emotionale Belastung lag der mediane Wert vor der Erstanpassung bei 6,5 und 12 Monate nach der Erstanpassung bei 6. Die mediane kognitive Belastung lag vor der Erstanpassung bei einem Wert von 4 und nach 12 Monaten bei einem Wert von 5. Die Kategorie psychische Belastung fasst die emotionale und kognitive Belastung zusammen. Hier erreichten die Patienten vor der Erstanpassung im

Median einen Wert von 11,5 und nach 12 Monaten im Median einen Wert von 10. In den Kategorien Penetranz des Tinnitus (präEAP: 9, 12 Monate: 7) und Hörprobleme (präEAP: 6,5, 12 Monate: 3) fand sich nach der CI-Versorgung ein niedrigerer Median als im unversorgten Zustand. In der Kategorie



**Abbildung 32:** Ergebnisse des Tinnitusfragebogens nach Goebel und Hiller. Dargestellt werden die präoperativ (vor Erstanpassung, hellgrau) erhobenen Werte und die Werte des Fragebogens, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung (dunkelgrau) ausgefüllt wurden. Angegeben ist der prozentuale Anteil des erhobenen Wertes am maximal erreichbaren Wert der einzelnen Unterkategorien und des Gesamtwertes. Die Unterschiede zwischen beiden Messzeitpunkten waren gering und statistisch nicht signifikant (Wilcoxon-Vorzeichenrangtest).

Schlafstörungen lag der Median vor der Erstanpassung bei einem Wert von 0

und 12 Monate nach der Erstanpassung bei einem Wert von 1. Kein Unterschied fand sich in der Kategorie somatische Beschwerden (Median = 1). Das mediane Gesamtergebnis des Tinnitus-Fragebogens nach Goebel und Hiller lag vor der Erstanpassung bei 31 und 12 Monate nach der Erstanpassung bei 24. Der Unterschied war im Wilcoxon-Vorzeichenrangtest nicht signifikant ( $p = 0,6764$ ).

#### **3.1.5.4.2 Einfluss des Sprachverständnisses in Ruhe und im Störgeräusch auf die Ergebnisse des Tinnitus-Fragebogens nach Goebel und Hiller**

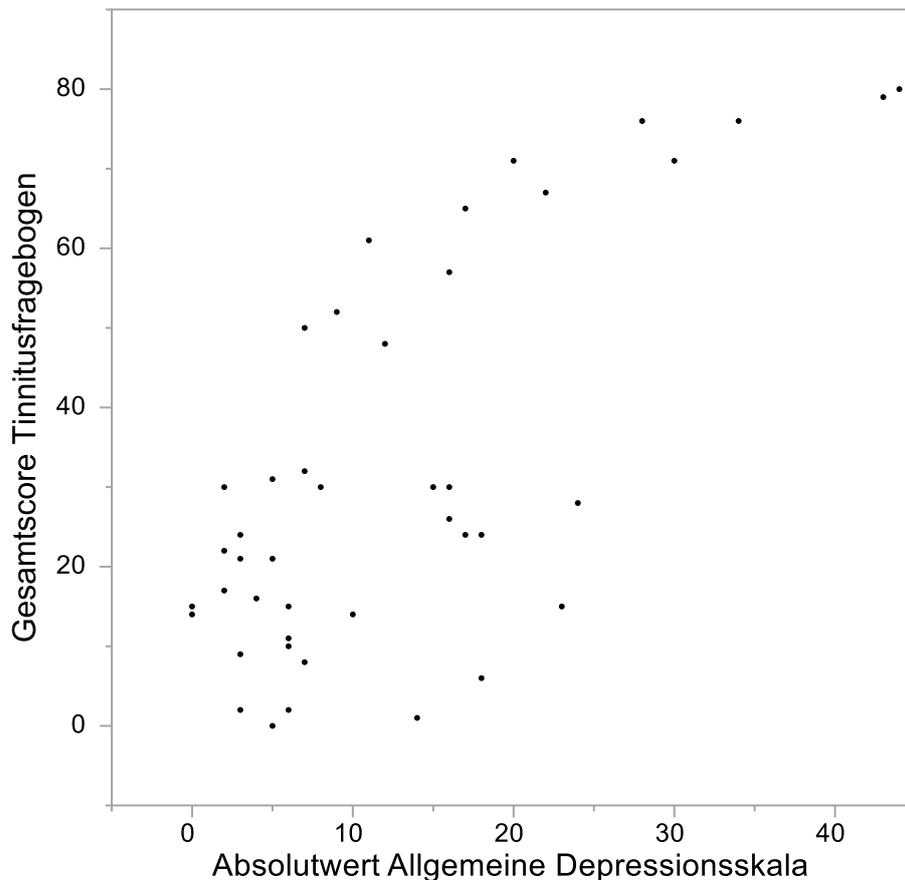
Der 12 Monatswert (Gesamtwert) des Tinnitus-Fragebogens wurde mit den Ergebnissen des Freiburger Sprachtests (Einsilber bei 65 dB, Prozent richtige Antworten) und des Oldenburger Satztests ( $S_0N_0$ , dB Signal-Rausch-Verhältnis) korreliert. Verwendet wurde jeweils die Messung, die am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung stattfand.

Es konnte keine Korrelation zwischen dem Gesamtwert des Tinnitus-Fragebogens und dem Sprachverständnis in Ruhe nachgewiesen werden. Der Korrelationskoeffizient (Spearman's  $\rho$ ) lag bei -0,05.

Zwischen dem Sprachverständnis im Störgeräusch ( $S_0N_0$ ) und dem Gesamtwert des Tinnitus-Fragebogens fand sich eine leichte Korrelation. Das Spearman's  $\rho$  lag bei 0,242. Gute (negative) Werte im OISa waren mit einem geringeren Score im Tinnitus-Fragebogen assoziiert.

#### **3.1.5.4.3 Zusammenhang zwischen dem Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala und den Ergebnissen des Tinnitus-Fragebogens nach Goebel und Hiller**

Der Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala wurde mit dem Gesamtwert des Tinnitus-Fragebogens nach Goebel und Hiller korreliert. Die Werte der einzelnen Patienten, die am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der



**Abbildung 33:** Korrelation zwischen Tinnitus-Fragebogen nach Goebel und Hiller und Allgemeiner Depressionsskala. Der Gesamtscore des Tinnitusfragebogens nach Goebel und Hiller wurde gegen den Absolutwert der Allgemeinen Depressionsskala aufgetragen. Ausgewählt wurde jeweils der Messwert, der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach Erstanpassung erhoben wurde. Der nach Spearman berechnete Korrelationskoeffizient lag bei 0,580.

Erstanpassung lagen, wurden ausgewählt. Die Abbildung 33 zeigt die ausgewählten Werte als Punktelcke. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman lag bei 0,580. Niedrige Absolutwerte in der ADS waren mit niedrigen Gesamtwerten im Tinnitus-Fragebogen assoziiert. Die in der ADS unauffälligen Patienten (Absolutwert <18) erreichten im Median einen Gesamtscore von 21,5 im Tinnitus-Fragebogen. Der mediane Gesamtscore des Tinnitus-Fragebogens der Patienten, die in der ADS ein auffälliges Ergebnis erreichten (n = 11), lag bei 71. Insgesamt absolvierten 43 Patienten einen Tinnitus-Fragebogen nach Goebel und Hiller. Einen auffälligen Absolutwert in der Allgemeinen Depressionsskala wiesen 11 dieser 43 Patienten (25,6%) auf. Von 61 Patienten

lag ein 12 Monatswert in der Allgemeinen Depressionsskala vor. 12 dieser 61 Patienten (19,7%) erreichten einen auffälligen Wert.

### **3.1.6 Zusammensetzung und Ergebnisse der „non-User“ Gruppe**

Im Verlauf der Rehabilitation wurden die Patienten nach dem Trageverhalten des Prozessors gefragt. Ein regelmäßiges Auslesen des Sprachprozessors fand nicht statt. Unregelmäßiges Trageverhalten des Prozessors, z.B. nur während der Arbeit, führte nicht zur Aufnahme in die Gruppe der non-User.

In Gruppe A waren 2 Patienten non-User. Einer der Patienten ist durch ein Cholesteatom ertaubt. Er erreichte im Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65 dB) kein freies Sprachverständnis. Mehrsilber wurden bei 65 dB zu maximal 80% verstanden. Im OISa profitierte der Patient in allen Messungen nach der Erstanpassung in den Messbedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$ . Der zweite non-User aus Gruppe A erlaubte durch eine möglicherweise genetische Ursache. Er verstand bei 65 dB Sprachlautstärke maximal 15% der Einsilber im Freiburger Sprachtest (75% bei 80 dB). Im OISa war sein Hörergebnis mit CI dem monauralen Hören und dem Hören mit BAHA in  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  überlegen.

Ein Patient in Gruppe B trug seinen Sprachprozessor nicht. Er war möglicherweise kongenital ertaubt. Er erreichte im Freiburger Sprachtest kein freies Sprachverständnis in Ruhe. Im OISa zeigte sich in beiden Messungen nach der Erstanpassung eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses in  $S_0N_{NH}$  und  $S_0N_{SSD}$ .

Zusammenfassend waren non-User in Gruppe A und B selten (3,4%). Die meisten Patienten trugen ihren Sprachprozessor regelmäßig.

Drei Patienten in Gruppe C waren non-User. Eine Patientin hat die Nachsorge abgebrochen, da sie sich durch das Tragen des Sprachprozessors stigmatisiert fühlte. Ein weiterer Patient hat die Nachsorge aus ungeklärter Ursache

abgebrochen. Von beiden Patienten lagen keine Messungen des Sprachverständnisses mit CI vor. Von einer Patientin in Gruppe C, die ihren Sprachprozessor nicht trug, lagen Messungen des Sprachverständnisses in Ruhe vor. Sie erreichte kein freies Sprachverständnis in Ruhe. Die drei non-User wurden aufgrund ihrer mangelhaften Deutschkenntnisse in Gruppe C eingeschlossen.

## 3.2 Ergebnisse der implantierten Kinder

### 3.2.1 Beschreibung des Patientenkollektivs

Insgesamt wurden in der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde Tübingen bis einschließlich Juni 2017 11 einseitig ertaubte Kinder mit einem Cochlea-Implantat versorgt. In Tabelle 26 wurden die Kinder genauer beschrieben. Jedem Kind wurde eine Nummer zugeordnet.

**Tabelle 26:** Beschreibung der Kinder. Dargestellt wurden Kindernummer (Ki.-Nr.), Geschlecht (G.), Ertaubungsseite (S.), Ertaubungsursache, Alter bei OP in Jahren, Ertaubungsdauer (ED) in Jahren, Monate (M.) nach Erstanpassung (EAP), PTA (pure-tone average, Mittelwert der Frequenzen 0,5; 1; 2 und 4 kHz) des normalhörigen (NH) und des ertaubten (SSD) Ohrs in dB Hörverlust (dB HV) und der Hersteller des Cochlea-Implantats (CI).

Ki.-Nr.	G.	S.	Ertaubungsursache	Alter bei OP Jahre	ED Jahre	M. nach EAP	PTA-NH	PTA-SSD	Hersteller CI
K1	w	re	unbekannt	4,2	0,4	39,4	5,00	130,00	Med-EI
K2	m	li	unbekannt	5,4	5,4	4,9	6,67	113,75	Med-EI
K3	w	re	unbekannt	6,2	6,2	42,7	13,75	103,75	Cochlear
K4	w	re	unbekannt	8,3	1,5	73,7	22,50	82,50	Med-EI
K5	m	li	unbekannt	8,8	3,3	14,9	17,50	91,25	Cochlear
K6	m	re	infektiös	9,1	6,0	56,0	15,00	86,25	Med-EI
K7	m	re	unbekannt	11,8	0,6	26,5	10,00	127,50	Cochlear
K8	m	re	genetisch	12,6	8,3	63,9	10,00	118,75	Cochlear
K9	w	li	traumatisch	13,0	0,8	34,2	8,75	130,00	Med-EI
K10	w	li	Cholesteatom	13,7	0,2	2,3	5,00	130,00	Cochlear
K11	w	li	genetisch	15,0	1,3	40,2	5,00	96,25	Med-EI

Das Mädchen K1 wurde im Alter von 4,2 Jahren implantiert. Das Neugeborenen-Hörscreening war unauffällig und die Ertaubung erfolgte vermutlich postlingual. Die Ertaubungsursache von Kind K1 war unbekannt. Kind K2 war möglicherweise kongenital ertaubt. Im Neugeborenen-Hörscreening konnten keine transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen nachgewiesen werden. Die CI-Implantation erfolgte im Alter von 5,4 Jahren. Das Kind K2 wurde 5 Monate vor Ende der Datenerfassung implantiert. Ebenfalls möglicherweise kongenital ertaubt war das Kind K3. Die CI-Implantation erfolgte im Alter von 6,2 Jahren.

Kind K4 wurde im Alter von 8,3 Jahren implantiert. Die Ertaubungsursache des Mädchens war unbekannt, die Ertaubung erfolgte vermutlich postlingual. Auf der kontralateralen Seite wurde ein Large Vestibular Aqueduct Syndrome (LVAS) diagnostiziert. Der Junge K5 ertaubte vermutlich im Alter von 5,5 Jahren. Die CI-Implantation erfolgte im Alter von 8,8 Jahren. Die Ertaubungsursache war unbekannt. Kind K5 kam erst kurz vor der Implantation nach Deutschland und wies eingeschränkte Deutschkenntnisse auf. Der Junge K6 wurde im Alter von 9,1 Jahren implantiert und ertaubte durch rezidivierende Mittelohrinfekte im Alter von 3 Jahren. Zusätzlich lag eine Hypoplasie des Nervus cochlearis vor. Kind K7 ist ebenfalls ein Junge. Er wurde im Alter von 11,8 Jahren implantiert und war postlingual ertaubt. Die Deutschkenntnisse von Kind K7 waren eingeschränkt. Das Kind K8 ertaubte aufgrund eines Waardenburg-Syndroms. Die CI-Implantation erfolgte im Alter von 12,6 Jahren. Das Mädchen K9 ertaubte vermutlich durch einen Fahrradsturz. Die CI-Implantation erfolgte 10 Monate nach der Ertaubung im Alter von 13 Jahren. Die Deutschkenntnisse von Kind K9 waren eingeschränkt. Im Alter von 13,7 Jahren wurde das Mädchen K10 implantiert. Das Mädchen ertaubte durch ein genuines Cholesteatom und war vor der CI-Implantation bereits mehrfach voroperiert. Das Kind K11 ertaubte durch einen progredienten Hörverlust und wurde im Alter von 15 Jahren implantiert. Die Ertaubung war möglicherweise genetisch bedingt. Der Hörverlust begann mit der Einschulung und führte zur Ertaubung im Alter von 13,8 Jahren.

Das Geschlecht der Kinder war gleichmäßig verteilt. 6 der 11 Kinder (55%) waren weiblich. Die Ertaubungsseite war ebenfalls nicht gewichtet verteilt (6 Kinder (55%) sind rechts ertaubt). Bei 6 Kindern (55%) wurde ein Cochlea-Implantat der Firma MED-EL implantiert. Die restlichen 5 Kinder (45%) wurden mit einem Implantat der Firma Cochlear versorgt.

### 3.2.2 Reintonaudiometrie

#### 3.2.2.1 Reintonaudiometrie des normalhörigen Ohres

Die letzte präoperative Reintonaudiometrie des normalhörigen Ohres der beschriebenen Kinder findet sich in Tabelle 27. Von den Kindern K2 und K4 lagen von einigen Frequenzen keine Messwerte vor. Der PTA (Tabelle 26) lag bei allen Kindern zwischen 5 und 22,5 dB Hörverlust und damit unter 30 dB Hörverlust.

**Tabelle 27:** Reintonaudiometrie der letzte präoperative Reintonaudiometrie des normalhörigen Ohres der beschriebenen Kinder (Kindernummer, Ki.-Nr.) Die Angabe erfolgte in Kilohertz.

Ki.-Nr.	0,125 kHz	0,25 kHz	0,5 kHz	1 kHz	1,5 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	6 kHz	8 kHz
K1	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5
K2	5	5	10	5				5		5
K3	15	15	15	15	15	15	10	10	10	15
K4	30	30	20	20	10	20		30		35
K5	30	30	30	25	15	10	0	5	10	10
K6	20	20	20	15	15	10	15	15	10	10
K7	10	10	15	10	10	10	5	5	15	10
K8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
K9	15	15	10	10	5	5	5	10	20	20
K10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
K11	5	5	5	5	0	5	0	5	10	5

#### 3.2.2.2 Reintonaudiometrie des ertaubten (SSD) Ohres

In Tabelle 28 findet sich die letzte präoperative Reintonaudiometrie des ertaubten Ohres. Von Kind K4 wurden in der letzten präoperativen Reintonaudiometrie nicht alle Frequenzen gemessen. Der PTA (Tabelle 26) lag zwischen 82,5 und 130 dB Hörverlust. Die Kinder K1, K7, K8, K9 und K10 wiesen kein oder nahezu kein Resthörvermögen auf der ertaubten Seite auf.

**Tabelle 28:** Reintonaudiometrie der ertaubten Seite (Kinder). Die letzte präoperative Reintonaudiometrie der ertaubten Seite der beschriebenen Kinder (Kindernummer, Ki.-Nr.) wurde dargestellt. Die Angabe erfolgte in Kilohertz. Bei nicht messbarer Hörschwelle wurde die maximale Kapazität des Audiometers angegeben (vgl. K1).

Ki.-Nr.	0,125 kHz	0,25 kHz	0,5 kHz	1 kHz	1,5 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	6 kHz	8 kHz
K1	80	100	130	130	130	130	130	130	130	100
K2	75	75	90	105	120	130	130	130	130	100
K3	70	70	90	105	110	105	115	115	115	100
K4	70	70	75	85		90		80	95	100
K5	80	100	85	80	85	90	100	110	130	100
K6	75	75	90	95	90	85	80	75	70	75
K7	80	100	130	120	130	130	130	130	130	100
K8	80	100	100	115	120	130	130	130	130	100
K9	80	100	130	130	130	130	130	130	130	100
K10	75	75	130	130	130	130	130	130	130	100
K11	55	55	75	80	100	110	115	120	125	100

### 3.2.3. Sprachverständnis in Ruhe

Das Sprachverständnis in Ruhe wurde in Abhängigkeit des Alters mit dem Mainzer oder Göttinger Kindersprachtest sowie dem Freiburger Sprachtest untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen waren daher nur bedingt vergleichbar.

Unversorgt erreichte das Mädchen K1 im Mainzer Kindersprachtest (90 dB) kein Sprachverständnis. 6 Monate nach der Erstanpassung lag es bei einem Sprachverständnis von 80% bei 65 dB in Ruhe. Nach 12 Monaten erreichte es sowohl bei 65 als auch bei 80 dB ein Sprachverständnis von 90% (Mainzer Kindersprachtest). 24 Monate nach der Erstanpassung lag das Sprachverständnis in Ruhe im Mainzer Kindersprachtest bei 65 dB bei 90%. Nach 36 Monaten erreichte das Mädchen im Göttinger Sprachtest ein Verständnis von 60% bei 65 dB und 70% bei 80 dB. Zum selben Zeitpunkt lag das Sprachverständnis von Mehrsilbern (Freiburger Sprachtest) bei 65 dB und 80 dB bei je 100%.

Der Junge K2 erreichte präoperativ mit Hörgerät im Göttinger Kindersprachtest bei 65 dB 0% und bei 80 dB 50% Sprachverständnis in Ruhe. Postoperativ lagen aufgrund der kurzen Nachsorge keine Messwerte vor.

Unversorgt erreichte das Mädchen K3 präoperativ im Freiburger Sprachtest kein freies Sprachverständnis in Ruhe (Einsilber und Mehrsilber) bei einer Sprachlautstärke von 90 dB. 3 Monate nach der Erstanpassung wurde ein Sprachverständnis von Mehrsilbern (Freiburger Sprachtest, 65 dB) von 30% erreicht. Nach 6 Monaten wurden 55% der Einsilber und 70% der Mehrsilber bei 65 dB im Freiburger Sprachtest verstanden. Nach 12 Monaten lag das

**Tabelle 29:** Sprachverständnis in Ruhe der Kinder. Angegeben wurden ausschließlich Ergebnisse des Freiburger Sprachtests in den Messbedingungen (MB) Einsilber (E) und Mehrsilber (M) bei 65 und 80 dB Sprachlautstärke.

Pat.-Nr.	MB	prä EAP		3 Monate		6 Monate		12 Monate		24 Monate	
		65dB	80dB	65dB	80dB	65dB	80dB	65dB	80dB	65dB	80dB
K3	E	0	0							65	70
K3	M	0	0					80	90	100	100
K5	E			0	10	0	15				
K5	M			0	40	20	80				
K6	E	0	0	0	0	0	0				
K6	M	0	0	0	0	0	30				
K7	E					0	0	0	50	0	15
K7	M					0	0	40	100	0	60
K8	E	0	0	0	0					0	0
K8	M	0	0	0	10						
K9	E	0	0	0	0			0	10	0	30
K9	M	0	0	10	10			20	40	40	100
K11	E	0	0	5	25	10	25	0	0	0	30
K11	M							0	0	0	100

Sprachverständnis im Mainzer Kindersprachtest bei 65 dB bei 50% und bei 80 dB bei 60%. Mehrsilber des Freiburger Sprachtests wurden bei 65 dB zu 80% und bei 80 dB zu 90% verstanden. 24 Monate nach der Erstanpassung erreichte das Mädchen ein Sprachverständnis von Einsilbern (Freiburger Sprachtest, 65 und 80 dB) von 65% und 70%. Mehrsilber wurden bei 65 und 80 dB zu 100% verstanden.

Das Mädchen K4 erreichte präoperativ unversorgt 0% Sprachverständnis im Freiburger Sprachtest mit Einsilbern und Mehrsilbern bei 100 dB Sprachlautstärke. Nach der CI-Implantation absolvierte es seine Nachsorge aufgrund eines Wohnortwechsels nicht in Tübingen. Es lagen keine Messwerte mit CI vor.

Unversorgt lagen Werte des Jungen K5 vor, die mit dem Göttinger Kindersprachtest gemessen wurden. Er erreichte bei 65 dB 0% und bei 80 dB 40% Sprachverständnis in Ruhe. Die Messungen mit CI erfolgten alle mit dem Freiburger Sprachtest. 3 Monate nach der Erstanpassung lag das Sprachverständnis in Ruhe bei Einsilbern bei 0% (65 dB) und 10% (80 dB). Das Verständnis von Mehrsilbern lag bei 0% (65 dB) und bei 40% (80 dB). Einsilber wurden nach 6 Monaten bei 65 dB zu 0% und bei 80 dB zu 15% verstanden. Bei Mehrsilbern wurden Werte von 20% (65 dB) und 80% (80 dB) erreicht.

Der Junge K6 (non-user) erreichte unversorgt im Freiburger Sprachtest kein Sprachverständnis von Mehrsilbern bei 100 dB Sprachlautstärke. Mehrsilber wurden 3 Monate nach der Erstanpassung bei 65 dB 0% und bei 80 dB 60% verstanden. 6 Monate nach der Erstanpassung erreichte er mit Mehrsilbern ein Sprachverständnis in Ruhe von 0% bei 65 dB und 30% bei 80 dB.

Präoperativ lagen von Junge K7 keine Messwerte vor. 6 Monate nach der Erstanpassung erreichte er in allen vier Messbedingungen des Freiburger Sprachtest kein freies Sprachverständnis. Nach 12 Monaten lag das Sprachverständnis von Einsilbern bei 0% (65 dB) und bei 50% (80 dB). Mehrsilber wurden bei 65 dB in 40% und bei 80 dB in 100% der Fälle verstanden. Nach 24 Monaten lag das Sprachverständnis von Einsilbern in Ruhe bei 0% (65 dB) und 15% (80 dB). Das Sprachverständnis von Mehrsilbern lag bei 0% (65 dB) und 60% (80 dB).

Der Junge K8 (non-user) hatte präoperativ im Freiburger Sprachtest (Mehrsilber, 100 dB) kein freies Sprachverständnis. 3 Monate nach der CI-Versorgung erreichte er im Freiburger Sprachtest mit Mehrsilbern ein Sprachverständnis von

0% (65 dB) und 10% (80 dB). 24 Monate nach der Erstanpassung erreichte er kein freies Sprachverständnis von Einsilbern bei 65 dB und 80 dB.

Unversorgt erreichte das Mädchen K9 bei 100 dB im Freiburger Sprachtest mit Einsilbern kein freies Sprachverständnis. Nach 3 Monaten lag bei Einsilbern (65 und 80 dB) kein freies Sprachverständnis vor. Mehrsilber wurden bei 65 und 80 dB Sprachlautstärke zu je 10% verstanden. Nach 12 Monaten erreichte das Mädchen ein Sprachverständnis bei Einsilbern von 0% (65 dB) und 10% (80 dB). Das Sprachverständnis von Mehrsilbern lag bei 20% (65 dB) und bei 40% (80 dB). 24 Monate nach der Erstanpassung wurden Einsilber im Freiburger Sprachtest bei 65 dB in 0% und bei 80 dB in 30% der Fälle verstanden. Das Mehrsilberversständnis lag bei 40% (65 dB) und 100% (80 dB). 36 Monate nach der Erstanpassung erreichte das Mädchen ein Sprachverständnis bei Einsilbern von 0% (65 dB) und 50% (80 dB) sowie bei Mehrsilbern von 60% (65 dB) und 100% (80 dB).

Von dem Mädchen K10 lagen unversorgt keine Messwerte vor. 3 Monate nach der Erstanpassung erreichte sie ein Sprachverständnis im Freiburger Sprachtest (Mehrsilber) von je 90% bei 65 und 80 dB Sprachlautstärke.

Das Mädchen K11 verstand präoperativ im Freiburger Sprachtest (Einsilber) bei 100 dB 5% der angebotenen Wörter. 3 Monate nach der Erstanpassung lag das Einsilberversständnis bei 5% (65 dB) und 25% (80 dB). Nach 6 Monaten wurden 10% (65 dB) und 25% (80 dB) der angebotenen Einsilber im Freiburger Sprachtest verstanden. Nach 12 Monaten erreichte das Mädchen kein Sprachverständnis im Freiburger Sprachtest (Mehrsilber, 65 und 80 dB). 24 Monate nach der Erstanpassung lag das Sprachverständnis von Einsilbern bei 0% (65 dB) und 30% (80 dB) sowie bei Mehrsilbern bei 0% (65 dB) und bei 100% (80 dB). Nach 36 Monaten erreichte das Mädchen in allen Messbedingungen des Freiburger Sprachtests 0% Sprachverständnis in Ruhe.

### 3.2.4 Oldenburger Satztest - Sprachverständnis im Störgeräusch

Von sechs Kindern lag mindestens eine Messung des Sprachverständnisses im Störgeräusch mit dem Oldenburger Satztest vor.

Das Kind K3 wurde 24 und 36 Monate nach der Erstanpassung gemessen. Die Werte waren 36 Monate nach der Erstanpassung in allen vier Messbedingungen verbessert. In der Messbedingung  $S_0N_0$  fand beispielsweise eine Verbesserung von -1,2 dB Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) auf -3,2 dB SRV statt.

Von Kind K6 lag nur eine Messung mit Hörgerät und eine Messung im unversorgten Zustand vor. Durch die BAHA-Versorgung verbesserte sich das Signal-Rausch-Verhältnis in der Messbedingung  $S_0N_0$  um 0,6 dB. Die Sprachverständnisschwelle lag mit BAHA bei 45,6 dB (unversorgt 30,7 dB).

Drei Messungen mit CI lagen von Kind K7 vor. Im Vergleich zu den Werten nach 6 Monaten fand nach 12 und 24 Monaten in den Messbedingungen  $S_0$ ,  $S_0N_0$  und  $S_0N_{SSD}$  eine Verbesserung statt. In  $S_0N_0$  lag die Verbesserung bei 6,4 dB. In der Messbedingung  $S_0N_{NH}$  lagen Werte nach 12 und 24 Monaten vor. Es erfolgt eine Verbesserung um 3,9 dB.

Von Kind K8 lagen Messwerte in den Messbedingungen  $S_0$  und  $S_0N_0$  vor. Das Kind wurde unversorgt, mit CROS und mit CI (nach 3 Monaten) gemessen. In der Messbedingung  $S_0$  kam es zu einer leichten Verschlechterung der Sprachverständnisschwelle durch CROS- und CI-Versorgung. Die CROS-Versorgung führte zu einer Verschlechterung in der Messbedingung  $S_0N_0$ . Die CI-Versorgung war in der Messbedingung  $S_0N_0$  sowohl der CROS-Versorgung als auch dem unversorgten Zustand überlegen.

Das Kind K9 absolvierte vier Oldenburger Satztests mit Cochlea-Implantat. Die Messungen erfolgten 3, 12, 24 und 36 Monate nach der Erstanpassung. Die Werte in der Messbedingung  $S_0$  schwankten und waren nach 36 Monaten leicht

**Tabelle 30:** Ergebnisse des Oldenburger Satztests ( $S_0$  in dB Sprachlautstärke sowie,  $S_0N_0$ ,  $S_0N_{SSD}$  und  $S_0N_{NH}$  in dB Signal-Rausch-Verhältnis (dB SRV)) der Kinder. Verwendet wurden die Hörhilfen contralateral routing of signals (CROS), Hörgerät und Cochlea-Implantat (CI). Die Messzeitpunkte lagen vor der Erstanpassung (präEAP) und n Monate nach der Erstanpassung. Leere Zellen stehen für fehlende Messwerte.

Ki.-Nr.	Hörhilfe re	$S_0$ (dB)	$S_0N_0$ (dB SRV)	$S_0N_{SSD}$ (dB SRV)	$S_0N_{NH}$ (dB SRV)	Zeitpunkt
K3	CI	41,3	-1,2	-6,5	-3,3	24 Monate
K3	CI	29,3	-3,2	-9,3	-3,6	36 Monate
K6		30,7	-3,7	-12,1	-3,1	präEAP
K6	Hörgerät	45,6	-4,3			präEAP
K7	CI	43	1,9	-6,8		6 Monate
K7	CI	28,1	-4,5	-10,1	0,4	12 Monate
K7	CI	27,4	-4,4	-9,2	-3,5	24 Monate
K8		25,1	-4,9			präEAP
K8	CROS	26,9	-3,9			präEAP
K8	CI	26,9	-5,2			3 Monate
K9	CI	31,9	-0,6	-6,5	1,1	3 Monate
K9	CI	37,8	-4,4	-11,3	-2,1	12 Monate
K9	CI	27,2	-6,5	-11,6	-2,3	24 Monate
K9	CI	28,5	-4,9	-11,2	-3,2	36 Monate
K11		30,3	-5,2	-8,9	0,7	präEAP
K11	CROS	27,7	-5,7	-12,2	0,2	präEAP
K11	CI	26,6	-7,1	-17,1	-4,1	24 Monate

verbessert. Im Verlauf nach der Erstanpassung erfolgte in den drei Messbedingungen im Störgeräusch eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses. In  $S_0N_0$  verbesserten sich die Werte von -0,6 dB SRV (3 Monate) bis auf -6,5 dB SRV (24 Monate). In der Messbedingung  $S_0N_{SSD}$  erfolgte eine Verbesserung um 5,1 dB auf -11,6 dB SRV nach 24 Monaten. Eine Verbesserung um 4,3 dB SRV fand sich nach 24 Monaten in der Messbedingung  $S_0N_{NH}$ .

Eine Messung im unversorgten Zustand, eine Messung mit CROS und eine Messung mit CI (24 Monate nach der Erstanpassung) lagen von Kind K11 vor. Durch die CROS-Versorgung kam es in allen vier Messbedingungen des Oldenburger Satztests zu einer Verbesserung. Die CI-Versorgung war wiederum in allen Messbedingungen des Oldenburger Satztests der CROS-Versorgung überlegen. In der Messbedingung  $S_0N_0$  kam es durch die CI-Versorgung im Vergleich zum unversorgten Zustand zu einer Verbesserung des Signal-Rausch-

Verhältnisses um 1,9 dB. In der Messbedingung  $S_0N_{SSD}$  lag die Verbesserung bei 9,2 dB, in der Messbedingung  $S_0N_{NH}$  bei 4,8 dB.

## 4. Diskussion

### 4.1 Ein- und Ausschlusskriterien sowie Bildung von Gruppe A, B und C

Für die vorliegende Studie wurden primär 122 erwachsene Patienten ausgewählt. Aus der Betrachtung wurden sieben Patienten ausgeschlossen, deren Implantation weniger als sechs Monate zurücklag. Hier wurde angenommen, dass noch keine ausreichende Hörerfahrung mit dem Cochlea-Implantat vorlag. Der internationale Konsensus definiert einseitige Ertaubung (SSD) über den pure-tone average (PTA, Mittelwert der Frequenzen 0,5, 1, 2 und 4 kHz), der auf der normalhörigen Seite  $\leq 30$  dB Hörverlust und auf der ertaubten Seite  $\geq 70$  dB Hörverlust liegen soll. Bei fünf der 122 Patienten lag der PTA der letzten präoperativen Reintonaudiometrie über 30 dB Hörverlust. In Studien, die vor der Veröffentlichung des internationalen Konsensus erschienen, wurden teilweise andere audiometrische Einschlusskriterien festgelegt, unter anderem von Peters et al. (2015), Tavora-Vieira et al. (2015b), Rahne et al. (2016), (Finke et al., 2017) und Arndt et al. (2016).

Die 110 verbliebenen Patienten wurden in drei Gruppen eingeteilt. Gruppe A erfüllte alle Kriterien des internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016). Die Patienten in Gruppe B erfüllten alle Kriterien mit Ausnahme der Ertaubungsdauer, die bei allen Patienten über 15 Jahren lag, und einer postlingualen Ertaubung, die bei neun Patienten möglicherweise nicht vorlag. Durch die Einteilung in Gruppe A und Gruppe B gelang es in der vorliegenden Studie eine große Anzahl langzeitertaubter Patienten ( $n = 25$ ) mit einer großen Anzahl Patienten ( $n = 63$ ) zu vergleichen, die alle Kriterien des internationalen Konsensus erfüllten. Aus Gruppe A und B wurden 22 Patienten ausgeschlossen, die in Gruppe C beschrieben wurden.

Laut internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016) werden Patienten ausgeschlossen, die nicht willig sind an der Nachsorge teilzunehmen, deren Ertaubungsursache eine Kontraindikation zur CI-Implantation darstellt und die

eine unrealistische Erwartungshaltung haben. Die Anwendung dieser Ausschlusskriterien war in einer retrospektiven Studie nicht möglich.

## 4.2 Eingesetzte Methoden

In der vorliegenden Studie wurden die audiologischen Untersuchungen und die Fragebögen ausschließlich in deutscher Sprache durchgeführt.

Die verwendeten audiologischen Untersuchungen sind international (Reintonaudiometrie) oder im deutschen Sprachraum (Freiburger Sprachtest, Oldenburger Satztest) etabliert.

Der Oldenburger Satztest wurde als gebräuchlichster adaptiver Sprachtest im Störgeräusch im deutschen Sprachraum in der Mehrzahl der Studien zur Cochlea-Implantat-Versorgung verwendet (Arndt et al., 2016; Grossmann et al., 2016; Jacob et al., 2011a; Rahne et al., 2016; Thomas et al., 2017). Der Hochmair-Schulz-Moser Satztest (HSM) arbeitet mit einem konstanten Signal-Rausch-Verhältnis und misst das Sprachverständnis in Prozent bei diesem. Er wurde in frühen Studien (Arndt et al., 2011b; Jacob et al., 2011a) verwendet aber aufgrund seines „ceiling-Effekts“ vom OLSa verdrängt. In internationalen Arbeiten wurde unter anderem der Bamford-Kowal-Bench-Speech-in-Noise Test (BKB-SIN) zur Untersuchung des Sprachverständnisses im Störgeräusch verwendet, während das Sprachverständnis in Ruhe mit consonant-nucleus-consonant words (CNC-words) untersucht wurde (Friedmann et al., 2016; Tavora-Vieira et al., 2015b).

Das Sprachverständnis im Störgeräusch wurde in der vorliegenden Studie in drei Messbedingungen gemessen. Die Messbedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{SSD}$  wurden vom internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016) vorgeschlagen und lagen für die vorliegende Studie vor. Statt der vorgeschlagenen Messbedingung  $S_{SSD}N_{NH}$  (Messung des Kopfschatteneffekts) wurde in der vorliegenden Arbeit in der Messbedingung  $S_0N_{NH}$  gemessen.

Die Allgemeine Depressionsskala (ADS) ist validiert und ein weit verbreiteter Screening-Fragebogen für ein Depressives Syndrom (Hautzinger et al., 2012).

Der Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ) wurde von Hinderink et al. (2000) entwickelt. Er ist in der deutschen Sprache noch nicht validiert. Sein Einsatz erfolgte jedoch bereits in Studien aus Deutschland (Louza et al., 2017; Rosli et al., 2015). Der internationale Konsensus (Van de Heyning et al., 2016) schlägt zur Bestimmung der Hörqualität den Speech, Spatial and Qualities of Hearing Questionnaire (SSQ) vor. Retrospektiv war dieser Vorschlag nicht zu erfüllen.

Sowohl der Dizziness Handicap Inventory (DHI) (Kurre et al., 2009) als auch der Tinnitusfragebogen nach Goebel und Hiller (Goebel et al., 1994) sind in der deutschen Sprache validiert.

Zusammengefasst waren alle verwendeten Methoden klinisch etabliert und wurden bereits mehrfach publiziert.

### **4.3 Patientenkollektiv dieser Studie**

In der vorliegenden Studie wurden 110 erwachsene Patienten beschrieben. Eine Übersicht über das Alter bei OP, die Ertaubungsdauer und das Alter bei Ertaubung findet sich in Tabelle 31. Vergleichend abgebildet wurden die Daten von 255 Patienten aus acht publizierten Studien. Das mediane Alter bei der CI-Implantation aller Patienten (n = 110) der vorliegenden Studie lag bei 51,2 Jahren und stimmte nahezu mit dem der Patienten aus Gruppe A (51,9) und Gruppe C (52,1) überein. Die langzeitertaubten Patienten aus Gruppe B wurden im Median im Alter von 44,7 Jahren implantiert. Das Vorliegen dieser früheren Implantation in Gruppe B ließ sich durch die deutlich frühere Ertaubung (im Median mit 8 Jahren) erklären. Die Patienten aus Gruppe A sind im Median erst im Alter von 49,9 Jahren ertaubt.

**Tabelle 31:** Demografische Daten publizierter Studien im Vergleich zur vorliegenden Studie. Angegeben wurde die Anzahl an Patienten, das Alter bei OP, die Ertaubungsdauer und das Alter bei Ertaubung (falls vorhanden) von 8 publizierten Studien im Median oder Mittelwert (MW). Finke et al. unterteilten ihre Patienten in zwei Gruppen (G1 mit absolviertem Fragebogen, G2 ohne). Zum Vergleich sind die Daten der Patienten der vorliegenden Studie unterteilt in Gruppe A, B und C sowie im Gesamtkollektiv dargestellt.

<b>Autor</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Alter bei OP (Jahre)</b>	<b>Ertaubungsdauer (Jahre)</b>	<b>Ertaubungsalter (Jahre)</b>
(Arndt et al., 2016)	45	Median 45,3	Median 1,5	
(Tavora-Vieira et al., 2015b)	28	Median 54	Median 2,25	
(Dillon et al., 2017)	20	Median 51,8	Median 2,35	
(Mertens et al., 2015)	22	Median 49,3	Median 3,75	
(Rahne et al., 2016)	16	Median 51	Median 1,4	
(Holder et al., 2017)	12	MW 51,6	Median 1, MW 5,2	
(Grossmann et al., 2016)	12	MW 47,1	MW 1,5	
(Finke et al., 2017)	48 (G1)	MW 52,1	MW 6,6	MW 45,7
	52 (G2)	MW 45,9	MW 5,2	MW 39,4
<b>vorliegende Studie</b>				
Gruppe A	63	Median 51,10	Median 1,4	Median 49,1
Gruppe B	25	Median 44,8	Median 28,4	Median 9
Gruppe C	22	Median 52,2	Median 1,1	Median 49,4
A+B+C	110	Median 51,3	Median 2,8	Median 43,7

Das mediane Alter der Patienten dieser Studie lag im Bereich von bereits publizierten Daten (vgl. Tabelle 31). Sowohl im Mittelwert (Finke et al., 2017; Grossmann et al., 2016; Holder et al., 2017) als auch im Median (Arndt et al., 2016; Dillon et al., 2017; Mertens et al., 2015; Rahne et al., 2016; Tavora-Vieira et al., 2015b) lag das Alter bei der CI-Implantation bei 50 +/- 5 Jahren.

Die mediane Ertaubungsdauer des beschriebenen Gesamtkollektivs lag bei 2,8 Jahren (Mittelwert 9,7 Jahre). Aufgrund der schiefen Verteilung (viele Patienten mit kurzer Ertaubungsdauer und wenige Patienten mit (sehr) langer Ertaubungsdauer), wichen Mittelwert und Median stark voneinander ab. Gruppe A, die alle Kriterien des internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016) erfüllte, lag bei einer medianen Ertaubungsdauer von 1,4 Jahren. Im Vergleich mit den Angaben anderer Autoren war dieser Wert eher niedrig, allerdings

wurden in den dargestellten Studien (Tabelle 31) auch Patienten mit einer Ertaubungsdauer über 15 Jahren (Ausschlusskriterium im internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016)) eingeschlossen. Die Ertaubungsdauer der Patienten in Gruppe B lag aufgrund der Einschlusskriterien (Ertaubungsdauer über 15 Jahre) deutlich über den zum Vergleich dargestellten Studien. In einer Studie über die einseitige CI-Versorgung von fünf einseitig langzeitertaubten Patienten (Tavora-Vieira et al., 2013a) lag die mediane Ertaubungsdauer bei 35 Jahren und damit über der von Gruppe B (28,4 Jahre).

Finke et al. (2017) gaben das mittlere Ertaubungsalter ihrer Patienten an, die in zwei Gruppen unterteilt waren. Das mittlere Alter bei Ertaubung des Gesamtkollektivs der vorliegenden Studie lag bei 38,5 Jahren und war damit niedriger als in bei Finke et al. (2017), wo es bei 52,1 Jahren in Gruppe 1 und 45,9 Jahren in Gruppe 2 lag (vgl. Tabelle 31).

Die Ertaubungsursache der eingeschlossenen Patienten aus Gruppe A und Gruppe B wurde ausführlich beschrieben (vgl. Abb. 8). In Gruppe A waren 64% der Patienten durch einen Hörsturz ertaubt. In anderen Studien zur Cochlea-Implantat-Versorgung war als Ertaubungsursache ebenfalls ein Hörsturz am häufigsten vertreten. Finke et al. (2017) implantierten 100 Patienten, von denen 49% durch einen Hörsturz ertaubt waren. 11 der 28 von Tavora-Vieira et al. (2015b) beschriebenen Patienten (39%) ertaubten durch einen Hörsturz.

Anzumerken ist, dass die Ertaubungsursache der Patienten durch die Indikationsstellung zur CI-Implantation bereits selektiert wird. Zum Beispiel kontraindiziert eine Fibrosierung der Cochlea die Implantation. Infektiöse Ursachen von SSD (z.B. Meningitis) können zu einer Cochlea-Fibrosierung führen und könnten dadurch in den Angaben unterrepräsentiert sein.

Von Usami et al. (2017) stammt eine Studie, deren Ziel die Beschreibung der Ursachen einseitiger Ertaubung war. Patienten mit SSD wurden unterteilt in kongenital/früh ertaubte Patienten (n = 210) und erwachsen (im Alter von >15 Jahren) ertaubte Patienten (n = 182). Bei 94 der 182 (55%) erwachsen ertaubten Patienten mit SSD war einen Hörsturz ursächlich. In der vorliegenden Studie sind

65% der Patienten in Gruppe A durch einen Hörsturz ertaubt. Nimmt man die Patienten aus Gruppe B hinzu, die postlingual ertaubt sind, dann liegt der Anteil bei 54% (43/79) und stimmt mit dem von Usami et al. (2017) erhobenen Anteil nahezu überein. Der Morbus Menière wurde dahingegen von Usami et al. (2017) nicht als Ursache postlingualer einseitiger Ertaubung erfasst. Der Anteil traumatisch ertaubter Patienten lag bei Usami et al. (2017) nur bei 2% und war damit deutlich geringer als in der vorliegenden Studie (10%). Bei allen nicht postlingual ertaubten Patienten war in der vorliegenden Studie die Ertaubungsursache unbekannt. Usami et al. (2017) konnten bei 80% dieser Patienten eine Ursache (unter anderem cochlear nerve deficiency, 40%) nachweisen. Eine Aplasie des Nervus cochlearis stellt eine Kontraindikation zur CI-Implantation bei SSD dar und ist daher im vorliegenden Patientenkollektiv nicht repräsentiert.

## **4.4 Ergebnisse der Gruppen A und B im Vergleich zur Studienlage**

### **4.4.1 Reintonaudiometrie**

Die Reintonaudiometrie des besser hörenden Ohrs ergab bei allen Patienten eine PTA von maximal 30 dB Hörverlust (Einschlusskriterium). In Bezug zum altersentsprechend erwarteten Hörverlust (Brant et al., 1990) fand sich bei einem Großteil der Patienten ein geringerer Hörverlust als erwartet. Dies lässt sich durch den Ausschluss der Patienten mit einem PTA über 30 dB Hörverlust erklären.

Die Reintonaudiometrie des ertaubten Ohres lag in Gruppe A im Median bei 98,75 dB Hörverlust und in Gruppe B im Median bei 117,5 dB Hörverlust. Der Unterschied war signifikant (Mann-Whitney-U-Test (Normal-Approximation) ( $p = 0,0042$ )). Ursächlich kann hier zum einen sein, dass die langzeitertaubten Patienten im Verlauf ihrer Ertaubungsdauer ihr Resthörvermögen verloren

haben. Zum anderen findet sich in Gruppe A ein sehr großer Anteil Patienten, die durch einen Hörsturz ertaubt sind. Hier lag in der letzten präoperativen RTA häufig noch ein Resthörvermögen vor.

#### **4.4.2 Sprachverständnis in Ruhe**

In der vorliegenden Studie wurde das Sprachverständnis in Ruhe mit dem Freiburger Sprachtest gemessen. Sowohl in Gruppe A (Wilcoxon-Vorzeichenrangtest signifikant ( $p < 0,0001$ )) als auch in Gruppe B (Wilcoxon-Vorzeichenrangtest ( $p = 0,0018$ )) konnte nach 3 Monaten eine signifikante Verbesserung des monauralen, CI-versorgten Sprachverständnisses in Ruhe nachgewiesen werden. Gruppe A erzielte nächstgelegen am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung signifikant bessere Werte (Mann-Whitney-U-Test mit Normal-Approximation,  $p = 0,0020$ ) als Gruppe B. Gruppe A erreichte im Median bei Einsilbern mit 65 dB ein Sprachverständnis von 25%, Gruppe B lag im Median bei 0%. Der Mittelwert der Werte beider Gruppe lag bei 25,3%.

Rahne et al. (2016) fanden im Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65 dB) nach 12 Monaten ein mittleres Sprachverständnis von 41%. Ein beschriebenes Vergleichskollektiv beidseitig ertaubter Patienten erreichte 43% Sprachverständnis in Ruhe und wich damit kaum von den einseitig ertaubten Patienten ab. Finke et al. (2017) verglichen ebenfalls einseitig ertaubte Patienten mit beidseitig ertaubten Patienten (zweites CI). In dieser Studie erreichten die Patienten mit einseitiger Ertaubung nach 12 Monaten im Mittelwert etwa 55% Sprachverständnis in Ruhe (Freiburger Sprachtest, Einsilber, 65 dB). Das Vergleichskollektiv lag bei etwa 70% und erreichte damit signifikant bessere Werte. Eine weitere Studie untersuchte das Sprachverständnis von Wörtern („consonant–nucleus–consonant (CNC) monosyllabic words“) und fand nach einem Jahr ein mittleres Sprachverständnis von 55,4% (Friedmann et al., 2016).

Weder das Patientenkollektiv von Finke et al. (2017) noch das Patientenkollektiv von Rahne et al. (2016) unterscheiden sich stark vom Kollektiv dieser Studie. Das im Vergleich unbefriedigende mediane Sprachverständnis der Patienten dieser Studie lässt sich daraus nicht erklären. Einen großen Einfluss übt der Anteil an Patienten ohne freies Sprachverständnis (0%) aus. Dieser liegt in Gruppe A bei 22% und in Gruppe B bei 52% (zusammen 30%). Die Patienten in Gruppe B wiesen durch ihre Langzeitertaubung präoperativ bereits eine eingeschränkte Prognose auf.

#### **4.4.3 Sprachverständnis im Störgeräusch**

Das Sprachverständnis im Störgeräusch ist ein komplexer Vorgang, der beim binaural hörenden Menschen durch verschiedene Effekte ermöglicht wird (Akeroyd, 2006). Durch eine einseitige Ertaubung gehen die binauralen Effekte verloren. Mehrere Studien konnten bereits nachweisen, dass es durch die CI-Versorgung bei einseitiger Ertaubung zu einer Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch kommt (Arndt et al., 2016; Arndt et al., 2011a; Dorbeau et al., 2018; Grossmann et al., 2016; Legris et al., 2020; Prejban et al., 2018; Rahne et al., 2016; Vermeire et al., 2009).

In der vorliegenden Arbeit wurde das Sprachverständnis im Störgeräusch mit dem Oldenburger Satztest (OISa), einem adaptiven Satztest, untersucht (Kollmeier et al., 1997). In Tabelle 32 findet sich eine Übersicht über die Ergebnisse einschließlich der angewandten statistischen Tests. Die Sprachverständnisschwelle verbesserte sich nur in Gruppe B signifikant. Sowohl in Gruppe A als auch in Gruppe B verbesserte sich das Sprachverständnis im Störgeräusch in den Messbedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  signifikant. Weder in Gruppe A noch in Gruppe B konnte in  $S_0N_{SSD}$  eine signifikante Veränderung des Signal-Rausch-Verhältnisses gefunden werden. Es konnte in keiner Messbedingung ein signifikanter Unterschied der Ergebnisse von Gruppe A und Gruppe B festgestellt werden.

**Tabelle 32:** Übersicht der OISa-Ergebnisse von Gruppe A und Gruppe B. Der Unterschied zwischen der Messung vor der Erstanpassung (präEAP) und der Messung 12 Monate nach der Erstanpassung findet sich unterteilt nach Gruppe A und B in den mittleren Spalten, rechts wurde der Vergleich zwischen Gruppe A und Gruppe B nach 12 Monaten dargestellt. Angegeben wurde jeweils der errechnete p-Wert (in  $S_0$  Wilcoxon-Vorzeichenrangtest und Mann-Whitney U-Test (Vergleich A und B), restliche Werte t-Test). In den Messbedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  ließ sich in Gruppe A und Gruppe B eine Verbesserung nachweisen. In keiner Messbedingung unterschieden sich die Ergebnisse von Gruppe A und Gruppe B signifikant.

Messbedingung	Gruppe A präEAP vs 12 Monate	Gruppe B präEAP vs 12 Monate	Gruppe A vs Gruppe B, 12 Monate
$S_0$	0,28	<0,01	0,4
$S_0N_0$	<0,01	<0,01	0,24
$S_0N_{SSD}$	0,57	0,12	0,25
$S_0N_{NH}$	<0,05	<0,01	0,83

Gruppe B erreichte in  $S_0$  vor der CI-Versorgung schlechtere Werte als Gruppe A und nach der CI-Versorgung nahezu die gleichen Werte wie Gruppe A. In Gruppe A fand sich eine leichte Tendenz zur Verbesserung, die nicht signifikant war. Es fanden sich keine publizierten Daten zur Veränderung der Sprachverständnisschwelle durch eine CI-Versorgung bei einseitiger Ertaubung.

In der Messbedingung  $S_0N_0$  wird der Summationseffekt untersucht. Hier fand sich in beiden Gruppen eine signifikante Verbesserung der Messwerte nach der Erstanpassung. Auf die Berechnung des Summationseffekts (SRV unversorgt - SRV versorgt) wurde verzichtet, da die Patienten nach der CI-Versorgung nur mit CI gemessen wurden, somit eine unversorgte Messung Monate bis Jahre zurücklag und nur bedingt vergleichbar war. Mehrere Studien konnten bereits die Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch in dieser Messbedingung nachweisen (Arndt et al., 2016; Mertens et al., 2017; Rahne et al., 2016). Im Gegensatz dazu fanden Grossmann et al. (2016) in allen Messbedingungen außer in  $S_0N_0$  eine signifikante Verbesserung. Zusammenfassend scheint durch die CI-Versorgung bei einseitiger Ertaubung der Summationseffekt ein verbessertes Sprachverständnis im Störgeräusch in  $S_0N_0$  zu ermöglichen.

Die Messbedingung  $S_0N_{SSD}$  untersucht den „squelch-effect“. In diesem Aufbau ist das ertaubte Ohr dem Störgeräusch zugewandt und der Patient nimmt

Störgeräusche nur eingeschränkt wahr. Durch die CI-Versorgung wird das Hörvermögen des ungünstiger positionierten Ohres wiederhergestellt. Es bedarf eines hohen Maßes an zentraler Integration um daraus eine Verbesserung des Sprachverständnisses zu erreichen. Weder in Gruppe A noch in Gruppe B konnte in der vorliegenden Arbeit eine signifikante Veränderung des Signal-Rausch-Verhältnisses festgestellt werden. Die Patienten erreichten in dieser Messbedingung im Median das beste Signal-Rausch-Verhältnis im Vergleich mit den anderen Messbedingungen im Störgeräusch. Nach 12 Monaten lag es in Gruppe A bei -9,5 dB SRV und in Gruppe B bei -10,5 dB SRV. Dies lässt sich durch die günstige Positionierung des überlegenen normalhörigen Ohres erklären. In einer bereits publizierten Arbeit konnte in  $S_{0N_{SSD}}$  bereits eine signifikante Verbesserung durch die CI-Versorgung nachgewiesen werden (Grossmann et al., 2016). Hierbei wurde derselbe OISa-Aufbau wie in der vorliegenden Studie verwendet. Grossmann et al. (2016) fanden in ihrem SSD-Kollektiv in  $S_{0N_{SSD}}$  im unversorgten Zustand ein Signal-Rausch-Verhältnis von -7,0 dB und im versorgten Zustand ein Wert von -8,8 dB. Der p-Wert lag bei 0,003.

Eine ungünstige Positionierung der Sprache und des Störgeräuschs findet sich für einen einseitig ertaubten Patienten in der Messbedingung  $S_{0N_{NH}}$ . Hier ist das normalhörige Ohr dem Störgeräusch zugewandt. Die Situation wird nochmals erschwert, wenn die Sprache auf der ertaubten Seite angeboten wird, während das Störgeräusch auf das normalhörige Ohr trifft ( $S_{SSD N_{NH}}$ ). In dieser Messbedingung wird der Kopfschatteneffekt untersucht. Sowohl in Gruppe A als auch in Gruppe B konnte in  $S_{0N_{NH}}$  in der vorliegenden Arbeit eine signifikante Verbesserung durch die CI-Versorgung nachgewiesen werden. Die Verbesserung war durch die Wiederherstellung des Hörvermögens des günstiger positionierten Ohres zu erwarten. Andere Autoren fanden in dieser Messbedingung ebenfalls eine signifikante Verbesserung. Grossmann et al. (2016) verwendeten den OISa, während Tavora-Vieira et al. (2015b) und Friedmann et al. (2016) die Messung mit dem BKB-SIN (Bamford-Kowal-Bench Speech-in-Noise Test) durchführten. Andere Autoren griffen auf die oben beschriebene Messbedingung  $S_{SSD N_{NH}}$  zurück und konnten hier eine signifikante

Verbesserung durch die CI-Versorgung nachweisen (Dorbeau et al., 2018; Rahne et al., 2016; Tavora-Vieira et al., 2015b).

Grossmann et al. (2016) publizierten mit der vorliegenden Arbeit vergleichbare Daten (vgl. Tabelle 33). Es ist ersichtlich, dass in beiden Arbeiten in der Messbedingung  $S_0N_{SSD}$  das beste Signal-Rausch-Verhältnis erreicht wurde. Insgesamt erreichte das Kollektiv der vorliegenden Arbeit ein negativeres, also besseres Sprachverständnis in allen 3 Messbedingungen des Oldenburger Satztests im Störgeräusch. Dies trifft sowohl für Gruppe A als auch auf Gruppe B zu. Das Kollektiv von (Grossmann et al., 2016) ist bezüglich der demografischen Daten vergleichbar mit Gruppe A dieser Arbeit. Die große Differenz der Ergebnisse von zum Beispiel über 3 dB in  $S_0N_0$  bleibt unklar.

**Tabelle 33:** Vergleich der Sprachverständnisschwellen der Patienten in der vorliegenden Arbeit mit der Studienlage. Verwendet wurde der am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung erhobene Wert

Kollektiv	MW/ Median	$S_0N_0$ (dB SRV)	$S_0N_{SSD}$ (dB SRV)	$S_0N_{NH}$ (dB SRV)	Hörtest
Gruppe A	MW	-4,57	-9,52	-5,0	OISa
Gruppe B	MW	-4,87	-10,36	-4,86	OISa
(Grossmann et al., 2016)	MW	-1,6	-8,8	-3,1	OISa

Zusammenfassend konnten die in der vorliegenden Arbeit nachgewiesenen Verbesserungen des Sprachverständnisses im Störgeräusch ( $S_0N_0$ ,  $S_0N_{NH}$ ) durch die CI-Versorgung bei einseitiger Ertaubung auch von anderen Autoren gefunden werden. Ein quantitativer der vorliegenden Arbeit mit den bereits publizierten Studien ist größtenteils nicht zielführend, da teilweise andere OISa-Aufbauten ( $S_{45SSD}N_{45NH}$ , (Arndt et al., 2016)) verwendet wurden, ein andere Hörtest im Störgeräusch eingesetzt wurden (Arndt et al., 2011a; Tavora-Vieira et al., 2015b) oder kein Mittelwert oder Median der Messwerte angegeben wurde (Plontke et al., 2013).

Es kann als gesichert gelten, dass die CI-Versorgung bei einseitig ertaubten Patienten zu einer Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch führt und binaurales Hören im Störgeräusch ermöglicht.

#### 4.4.4 NCIQ Fragebogen

In der vorliegenden Studie konnte in der Unterkategorie Aktivität und in der Gesamtsumme des NCIQs ein signifikanter Unterschied (Mann-Whitney U-Test (Normal Approximation)) zwischen den Zeitpunkten präEAP und dem am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung nächstgelegenen Wert nachgewiesen werden. In drei weiteren Unterkategorien lag der p-Wert zwischen 0,05 und 0,07. In Abbildung 28 ist deutlich ersichtlich, dass in allen 6 Unterkategorien eine Verbesserung der Werte nach der CI-Versorgung zu finden war. Die fehlende statistische Nachweisbarkeit der Verbesserung lag vermutlich an der geringen Anzahl an Messwerten, die vor der Erstanpassung erhoben wurde ( $n = 16$ ).

Eine signifikante Verbesserung des Sprachverständnisses fanden Rosli et al. (2015) in allen Unterkategorien des NCIQ außer in der Sprachproduktion. 8 Patienten mit einem PTA  $<25$  dB HV erreichten in allen Unterkategorien des NCIQ mit CI signifikant bessere Ergebnisse als ein Vergleichskollektiv mit asymmetrischem Hörverlust. In einer Arbeit von Louza et al. (2017) konnte nur in der Unterkategorie basale Schallwahrnehmung eine signifikante Verbesserung durch die CI-Versorgung gefunden werden. In allen Unterkategorien des NCIQ fanden Sladen et al. (2017) eine signifikante Verbesserung durch die CI-Versorgung. Die ersten Ergebnisse einseitig versorgter Patienten mit SSD im NCIQ wirken vielversprechend. Eine prospektive Studie mit einer größeren Anzahl Patienten könnte die Annahme sichern, dass die CI-Versorgung bei einseitiger Ertaubung die Hör- und Lebensqualität der Patienten steigert.

In der vorliegenden Arbeit konnte kein Einfluss der Hörergebnisse der Patienten auf die Ergebnisse der einzelnen NCIQ-Unterkategorien nachgewiesen werden. Der höchste errechnete Determinationskoeffizient lag bei 0,051 (erweiterte Schallwahrnehmung vs.  $S_{0N_{NH}}$ ). Der fehlende Einfluss der Hörergebnisse auf die Ergebnisse des NCIQ ist auffällig, da das Ziel des NCIQ die Messung der Hör- und Lebensqualität ist. Diese hängt, zumindest intuitiv, mit dem Hörvermögen der Patienten zusammen.

Ebenfalls zu diskutieren ist ein möglicher „ceiling“-Effekt des NCIQ bei einseitiger Ertaubung. Die Patienten erreichten bereits vor der CI-Versorgung relativ hohe Werte (z.B. im Median 76,25 in der Unterkategorie erweiterte Schallwahrnehmung).

Auffällig ist die starke Korrelation zwischen den Ergebnissen der Allgemeinen Depressionsskala und des NCIQ. Das Spearman's  $\rho$  lag in der Korrelation von Summe der NCIQ Unterkategorien und ADS bei -0,7. Schlechte Werte im NCIQ waren mit auffälligen Werten in der ADS verbunden. Lebensqualität und depressive Symptomatik stehen sicherlich in engem Bezug, allerdings scheint der Zusammenhang der Messwerte groß zu sein. Patienten, die keine Hinweise auf eine depressive Symptomatik zeigen, sind vermutlich besser in der Lage belastende Lebensereignisse (z.B. Ertaubung und CI-Versorgung) zu verarbeiten und können sich anschließend leichter an die neue Lebenssituation anpassen. Hieraus könnten sich die besseren Ergebnisse im NCIQ ergeben.

#### **4.4.5 Auswirkungen der Ursache der einseitigen Ertaubung auf die Ergebnisse der Patienten**

Eine zentrale Frage, die sich vor jeder CI-Implantation stellt, ist die Prognose des einzelnen Patienten. Ein Einflussfaktor auf das outcome kann die Ertaubungsursache des Patienten sein. Eine Meningitis ist mit einer vergleichsweise schlechten Prognose assoziiert (Garcia et al., 2009). Andere Autoren fanden auch bei Patienten, die beidseitig durch ein Schädel-Hirn-Trauma ertaubt sind schlechtere Ergebnisse als in einem Vergleichskollektiv (Alves et al., 2014). Alves et al. (2014) verglichen 14 traumatisch ertaubte Patienten mit 231 mit einer CI-Indikation aufgrund einer anderen Ertaubungsursache. Hierbei fand sich in der traumatisch ertaubten Gruppe ein signifikant schlechteres Sprachverständnis. Mögliche Ursachen könnten eine Schädigung des Nervus cochlearis sowie eine partielle Fibrosierung der Cochlea sein.

In Tabelle 16 wurden die Ergebnisse im Freiburger Sprachtest der Gruppen A und B nach Ertaubungsdauer untergliedert. Die Patienten, die durch einen

Hörsturz ertaubt sind, erreichten in Gruppe A das beste Sprachverständnis in Ruhe (abgesehen von 4 traumatisch ertaubten Patienten). Die Patienten mit einer infektiösen Ertaubungsursache erreichten ein eher schlechtes Sprachverständnis in Ruhe. Aussagen über die anderen Ertaubungsursachen sind schwierig, da deren Anzahl bei maximal 4 Patienten lag. Bei 10 der 23 Patienten in Gruppe B war die Ertaubungsursache unbekannt. Insgesamt 9 dieser 10 Patienten sind nicht sicher postlingual sondern möglicherweise kongenital ertaubt. Das Sprachverständnis in Ruhe dieser Patienten ist schlechter als das der aus anderer Ursache langzeitertaubten Patienten.

Generelle Aussagen über die Prognose von Patienten sind aus den vorliegenden Daten nicht ableitbar. Die Anzahl der Patienten mit eher seltener Ursache einseitiger Ertaubung (z.B. M. Menière) ist deutlich zu klein. In größeren Patientengruppen könnten bessere Rückschlüsse auf die Auswirkung der Ertaubungsursache gezogen werden, um bessere Aussagen über die Wahrscheinlichkeit eines guten Outcomes bei einem CI-Kandidaten treffen zu können.

#### **4.4.6 Auswirkungen der Dauer der einseitigen Ertaubung auf die Ergebnisse der Patienten**

Ein möglicher Einflussfaktor für das Outcome der Patienten ist die Ertaubungsdauer. In der vorliegenden Studie wurden in Gruppe A (n = 63) Patienten mit einer Ertaubungsdauer <15 Jahren beschrieben. Es erfolgte ein Vergleich mit Gruppe B (n = 25), in der die Patienten eine Ertaubungsdauer von mindestens 15 Jahren aufwiesen. In Tabelle 33 findet sich eine Übersicht der einzelnen Vergleiche. Das Sprachverständnis in Ruhe nach 12 Monaten CI-Erfahrung war in Gruppe A signifikant besser als in Gruppe B. Es ließ sich in beiden Gruppen eine Verbesserung durch die CI-Versorgung nachweisen, allerdings profitierte Gruppe A stärker. Ähnliche Ergebnisse fanden auch Rahne et al. (2016) mit dem Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65 dB). Nur einer von 8

Patienten mit einer Ertaubungsdauer von über 7 Jahren erreichte ein freies Sprachverständnis in Ruhe (Rahne et al., 2016).

**Tabelle 34:** Vergleich von Gruppe A (kurze bis mittlere Ertaubungsdauer <15 Jahre) und Gruppe B (Ertaubungsdauer >15 Jahre). Der Vergleich erfolgte mit dem am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung erhobenen Messwert. Ein signifikanter Unterschied (zugunsten von Gruppe A) ließ sich nur im Sprachverständnis in Ruhe nachweisen.

Gruppe A vs Gruppe B	Test	p-Wert
Freiburger Sprachtest Einsilber 65 dB	Mann-Whitney U-Test	0,002
Freiburger Sprachtest Einsilber 80 dB	Mann-Whitney U-Test	0,0023
Oldenburger Satztest $S_0$	Mann-Whitney U-Test	0,4031
Oldenburger Satztest $S_0N_0$	t-Test	0,2432
Oldenburger Satztest $S_0N_{SSD}$	t-Test	0,2517
Oldenburger Satztest $S_0N_{NH}$	t-Test	0,8259
Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire	Mann-Whitney U-Test	0,8402

Das Sprachverständnis im Störgeräusch verbesserte sich sowohl in Gruppe A als auch in Gruppe B in den Messbedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  signifikant. In keiner Messbedingung des Oldenburger Satztests ließ sich ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe A und Gruppe B nachweisen. Das Hörvermögen im Störgeräusch der langzeitertaubten Patienten profitierte durch die CI-Versorgung vergleichbar wie das Hörvermögen im Störgeräusch in Gruppe A. Die Ertaubungsdauer scheint im vorliegenden Patientenkollektiv keinen großen Einfluss zu haben. Ähnliche Ergebnisse konnten in einem Kollektiv mit 5 Patienten, die über 25 Jahre lang ertaubt waren, gefunden werden (Tavora-Vieira et al., 2013a). Alle 5 Patienten profitierten durch die CI-Versorgung in sämtlichen Messungen im Störgeräusch ( $S_0N_0$ ,  $S_0N_{NH}$ ,  $S_{SSD}N_{NH}$ ). Auch Arndt et al. (2016) konnten keinen signifikanten Einfluss der Ertaubungsdauer auf die Ergebnisse der Patienten im Störgeräusch nachweisen.

Die Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch ist insbesondere in Zusammenhang mit den unbefriedigenden Ergebnissen im Freiburger Sprachtest interessant. Patienten, die nicht in der Lage waren einsilbige Wörter in Ruhe zu verstehen, schienen trotzdem eine Information aus der Stimulation durch das CI ziehen zu können, die ihr Sprachverständnis im Störgeräusch verbesserte. Der Summationseffekt kann das in der Messbedingung  $S_0N_0$  nur

unzureichend erklären. Möglicherweise sind die Patienten in der Lage die Rhythmik der Sprache wahrzunehmen und mit dem normalhörigen Ohr Worte zu verstehen, die in diesen Rahmen passen.

Die Lebensqualität der langzeitertaubten Patienten (Gruppe B) unterschied sich nicht signifikant von der Lebensqualität der Gruppe A. Auf eine Berechnung der Signifikanz der Veränderung durch die CI-Versorgung unterteilt nach Gruppe A und B wurde aufgrund der geringen Anzahl an Messwerten vor der Erstanpassung verzichtet. Eine Verbesserung der Hörqualität fanden Tavora-Vieira et al. (2013a) mit dem SSQ Fragebogen bei 5 langzeitertaubten Patienten. Die Dauer der Ertaubung scheint keinen Einfluss auf die Hör- und Lebensqualität der Patienten sowie die mögliche Verbesserung durch eine CI-Implantation zu haben.

#### **4.4.7 Cochlea Implantat Versorgung bei möglicherweise kongenitaler Ertaubung**

Insgesamt 9 der 25 Patienten in Gruppe B wiesen eine möglicherweise kongenitale Ertaubung auf. 7 der 9 Patienten erreichten im Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65 dB) im Verlauf kein Sprachverständnis. Im OISa waren die Werte in  $S_0N_0$  mit CI leicht besser als im unversorgten Zustand. In  $S_0N_{NH}$  erreichten die Patienten mit möglicherweise kongenitaler Ertaubung, im Gegensatz zu den anderen langzeitertaubten Patienten, keine Verbesserung. Die Ergebnisse dieser Patienten waren zusammenfassend nicht zufriedenstellend.

Es lag keine Literatur zur einseitigen CI-Versorgung Erwachsener mit kongenitaler Ertaubung vor. Bei nicht kongenitaler Ertaubung konnten erfreuliche Ergebnisse erzielt werden (Tavora-Vieira et al., 2013a). Einige Autoren beschrieben bereits die CI-Versorgung bei einseitig kongenital ertaubten Kindern (Arndt et al., 2015; Tavora-Vieira et al., 2015a; Thomas et al., 2017). Sowohl Arndt et al. (2015) als auch Tavora-Vieira et al. (2015a) fanden bessere Ergebnisse bei nicht kongenital ertaubten Kindern. Zwei der insgesamt fünf

beschriebenen Kinder waren non-User. Thomas et al. (2017) beschrieben 21 Kinder mit kongenitaler Ertaubung. Eine signifikante Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch konnte nachgewiesen werden. Drei der fünf Patienten mit einem Follow-up von mindestens 3 Jahren waren non-User.

Die Ergebnisse bei Kindern lassen sich nur bedingt auf Erwachsene übertragen. Allerdings scheint es ausgeschlossen, dass durch eine längere Ertaubungsdauer die Prognose verbessert wird.

## **4.5 Ergebnisse der Gruppe C im Vergleich zur Studienlage**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Untergruppen in Gruppe C diskutiert.

### **4.5.1 CI-Implantation bei Patienten mit mangelhaften Deutschkenntnissen**

Die CI-Implantation von Patienten mit eingeschränkten Deutschkenntnissen ist ein aktuelles Thema, das im Rahmen von Migration weiter bestehen bleiben wird. Das Sprachverständnis in Ruhe der 7 Patienten mit mangelhaften Deutschkenntnissen war im Vergleich mit Gruppe A schlechter. Insgesamt 3 der 7 Patienten erreichten Werte von mindestens 30% Sprachverständnis im Freiburger Sprachtest (Einsilber, 65 dB). Im OISa profitierten 2 der 7 Patienten durch der CI-Versorgung. Auf die Auswertung der Fragebögen wurde verzichtet, da die komplexen Fragestellungen gute Deutschkenntnisse erfordern.

Zwei der sieben Patienten waren non-User und haben sich der Nachsorge entzogen. Gute Sprachfähigkeiten und ein Training in der eigenen Muttersprache sind sicherlich förderlich für das Outcome nach einer CI-Implantation. Es konnte

nach ausgiebiger Recherche keine Literatur gefunden werden, die sich mit dem beschriebenen Thema auseinandersetzt.

#### **4.5.2 CI-Implantation bei Fibrosierung der Cochlea**

Im vorliegenden Studienkollektiv wiesen 4 Patienten eine Fibrosierung der Cochlea auf. Die Implantation der beschriebenen Patienten mit bekannter Fibrose (n = 2) erfolgte nach kritischer Abwägung, und in der Annahme, dass eine vollständige Insertion der Elektrode chirurgisch möglich ist. Bei einem durch einen Hörsturz ertaubten Patienten wurde intraoperativ überraschend eine partielle Fibrosierung der basalen Windung festgestellt. Der Patient profitierte im OISa von der CI-Versorgung und erreichte insgesamt ein zufriedenstellendes Ergebnis. Die anderen drei Patientinnen ertaubten durch eine Meningitis, eine akute und eine chronische Otitis media. Bei den durch eine Otitis ertaubten Patientinnen konnte die Elektrode nicht vollständig eingeführt werden. Die drei Patientinnen mit einer Fibrosierung nach einer Infektion erreichten kein Sprachverständnis in Ruhe (Einsilber, 65 dB). Im OISa fand sich in S<sub>0</sub>N<sub>0</sub> eine Tendenz zur Verbesserung. In S<sub>0</sub>N<sub>NH</sub> profitierte nur die Patientin, die durch eine chronische Otitis media ertaubte. Die NCIQ Ergebnisse wurden ausschließlich nach der Implantation erhoben, ein Vergleich der Werte war somit nicht möglich.

Zusammengefasst waren die Ergebnisse der drei Patientinnen mit einer infektiösen Ertaubungsursache unbefriedigend. Die unvollständig intracochleär liegende Elektrode bei zwei der drei Patientinnen kann in Teilen ursächlich sein.

Vashishth et al. (2018) analysierten retrospektiv 42 Ohren mit einer Verknöcherung der Cochlea. Patienten mit Otosklerose und Patienten mit anderweitiger Verknöcherung erreichten vergleichbare Hörergebnisse. Es konnte kein signifikanter Unterschied zu einem Vergleichskollektiv ohne Verknöcherung der Cochlea nachgewiesen werden.

### 4.5.3 CI-Implantation bei intracochleärem Schwannom

Drei Patientinnen wurden wegen eines intracochleären Schwannoms in Gruppe C eingeschlossen. Die Ergebnisse einer Patientin (3-2) sind sehr erfreulich. Sie erreichte ein gutes Sprachverständnis in Ruhe und verbesserte sich in allen Messbedingungen des OISas. Eine weitere Patientin (3-3), bei der nur 14 Elektroden intracochleär platziert werden konnten, erreichte ein Sprachverständnis in Ruhe von maximal 45% und verbesserte sich in allen Messbedingungen des OISas. Die Patientin 3-1 erreichte nur in den einfacheren Messungen des Freiburger Sprachtests (Einsilber 80 dB und Mehrsilber bei 65 und 80 dB) ein Sprachverständnis. Im OISa lagen nur Messwerte mit CI vor, hier zeigte sich in  $S_{0N_{NH}}$  im Verlauf eine Verschlechterung. Im NCIQ erreichten die Patientinnen 3-2 und 3-3 nach der CI-Versorgung bessere Werte. Von der Patientin 3-1 lagen lediglich Werte mit CI vor.

Zusammenfassend erreichten die Patientinnen 3-2 und 3-3 gute Ergebnisse. In der Literatur wurden bereits mehrere Fälle von CI-Versorgung bei Patienten mit intracochleärem Schwannom beschrieben. Kronenberg et al. (1999) implantierten einen 58-jährigen Patienten und erreichten gute Ergebnisse. Ebenfalls positive Ergebnisse erzielten Schutt et al. (2014) bei einem 65-jährigen Patienten. Ein dritter Fallbericht stammt von Bento et al. (2016). Auch hier konnte ein gutes Hörergebnis nach der Implantation festgestellt werden. Ma et al. (2020) erreichten nach partieller Cochleektomie und simultane CI-Implantation bei einem Patienten ein sehr gutes Hörergebnis in Ruhe und im Störgeräusch.

Carlson et al. (2016) beschrieben insgesamt 10 Ohren (9 Patienten), in denen der Tumor bei der OP in situ belassen wurde und die Elektrode durch den Tumor inseriert wurde. Bei 8 der 10 Ohren konnten zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden.

Plontke et al. (2018) führten bei insgesamt 10 Patienten eine Resektion des intracochleären Schwannoms mit simultaner CI-Implantation durch. Im kurzfristigen Follow-up zeigten sich positive Hörergebnisse bei 9 der 10 implantierten Patienten.

Zusammenfassend muss das bestmögliche operative Vorgehen bei der Implantation mit oder ohne Resektion des Tumors noch unklar. Die Ergebnisse der bereits beschriebenen Patienten stimmen mit den positiven Ergebnissen der 3 Patienten dieser Arbeit überein. Die CI-Implantation bei intracochleärem Schwannom führte in den meisten Fällen zu einem zufriedenstellenden Hörergebnis.

#### **4.5.4 CI-Implantation nach der Resektion eines Vestibularisschwannoms**

Insgesamt 3 Patienten, die durch die Resektion eines Vestibularisschwannoms ertaubten, wurden in Gruppe C eingeschlossen. Das Sprachverständnis in Ruhe dieser Patienten war nicht zufriedenstellend. Alle erreichten kein zufriedenstellendes Einsilberverständnis, allerdings lag das Mehrsilberverständnis konstant über 0% und erreichte bei einem Patienten bei 80 dB Sprachlautstärke 100%. Im OISa verbesserte sich eine Patientin (4-1) in allen 3 Messbedingungen im Störgeräusch. Der Patient 4-2 blieb in zwei Messbedingungen konstant und verschlechterte sich in  $S_0N_{NH}$ . Die Patientin 4-3 verbesserte sich in  $S_0N_0$  und verschlechterte sich in  $S_0N_{NH}$ , während sie in  $S_0N_{SSD}$  relativ konstante Werte erreichte. Die Ergebnisse der Patienten sind zusammenfassend nicht zufriedenstellend. Es fand sich ein insuffizientes Sprachverständnis in Ruhe und nur in einem von drei Fällen eine deutliche Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch.

Hasepass et al. (2016) führten bei 11 Patienten eine translabyrinthäre Resektion eines Vestibularisschwannoms und anschließender Insertion eines Platzhalters ( $n = 7$ ) in die Cochlea durch. Bei 4 Patienten erfolgte nach erfolgreichem Promontorialtest eine CI-Implantation. 2 von 3 Patienten mit durchlaufener Nachsorge wiesen ein gutes Hörergebnis auf. Sanna et al. (2016) führten bei insgesamt 13 Patienten mit Normakusis der Gegenseite eine modifizierte translabyrinthäre Resektion eines Vestibularisschwannoms mit simultaner CI-

Implantation durch. Im kurzfristigen Verlauf fanden sich positive Hörergebnisse in Ruhe wie auch im Störgeräusch. In einem weiteren retrospektiv analysierten Kollektiv konnten positive Ergebnisse gefunden werden (Roemer et al., 2017). Neben der Hörverbesserung konnte bei 50 % der Patienten eine Verbesserung des Tinnitus erreicht werden (Roemer et al., 2017).

Wechselnde Ergebnisse fanden Lloyd et al. (2014) bei fünf Patienten mit Neurofibromatose Typ 2. Mukherjee et al. (2013) fanden bei Patienten mit unbehandeltem Vestibularisschwannom ein besseres Outcome als bei Patienten, bei denen zuvor eine Bestrahlung des Tumors durchgeführt worden war. Kein Sprachverständnis erreichte eine von Bento et al. (2016) beschriebene Patientin. Ein positives Ergebnis fanden Dagna et al. (2016) bei einer Patientin. Die beiden letztgenannten Autoren führten die Resektion des Schwannoms über einen retrosigmoidalen Zugang durch, der auch bei den drei Patienten dieser Studie zur Resektion des Schwannoms verwendet wurde.

Die Ergebnisse der Patienten hängen mit Sicherheit von der Größe des Tumors (in dieser Studie T3 bei allen Patienten) und der gewählten Therapie (wait and watch, Bestrahlung, OP (verschiedene Zugänge)) ab. Zentrales Ziel der Therapie sollte das optimale Management des Tumors sein und anschließend in Absprache mit dem Patienten die bevorzugte Hörrehabilitation (keine Therapie, CROS, CI oder Auditory Brainstem Implant (ABI)).

#### **4.5.5 CI-Implantation bei Resthörvermögen (PTA <70 dB Hörverlust)**

Insgesamt 4 Patienten wiesen ein zu gutes Resthörvermögen auf und erfüllten die Kriterien des internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016) für SSD nicht. Das erreichte Sprachverständnis in Ruhe der Patienten lag nach 12 Monaten im Freiburger Sprachtest zwischen 10 und 20 Prozent (Einsilber, 65 dB). Im OISa wurden 3 Patienten vor der CI-Versorgung gemessen. Alle erreichten in den drei Messbedingungen im Störgeräusch mit CI eine

Verbesserung. Im NCIQ erreichte Patient 5-1 eine deutliche Verbesserung durch das CI. Von den anderen Patienten lag kein NCIQ vor der Erstanpassung vor, mit CI zeigte sich im Verlauf keine Veränderung.

Die Ergebnisse der Patienten waren insbesondere im Störgeräusch überzeugend. Die CI-Versorgung von Patienten mit einseitigem ausgeprägtem Diskriminationsverlust bei nur hochgradiger Schallempfindungsschwerhörigkeit und einem 4-Ton PTA von unter 70 dB Hörverlust erscheint sinnvoll.

#### **4.6 CI-Versorgung bei einseitig ertaubten Kindern**

Insgesamt 11 einseitig ertaubte Kinder wurden in der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde in Tübingen bis Juni 2017 mit einem Cochlea-Implantat versorgt. Ergebnisse mit CI konnten von 8 Kindern ausgewertet werden. Eine Messung im OISa mit und ohne CI lag nur von der Patientin K11 vor.

Die Mädchen K1 und K3 wurden im Alter von 4 und 6 Jahren implantiert und erreichten beide ein gutes Sprachverständnis in Ruhe. K1 ist nicht kongenital ertaubt, bei K2 ist der Ertaubungszeitpunkt unklar.

Ein schlechtes Sprachverständnis in Ruhe erreichten die Kinder K5, K7 und K9. Bei allen drei Kindern lag ein Migrationshintergrund mit deutlich eingeschränkten Deutschkenntnissen vor.

Das Mädchen K11 ertaubte langsam progredient und wurde mit 15 Jahren implantiert. Es erreichte ein fluktuierendes Sprachverständnis in Ruhe. Die CI-Versorgung war der CROS-Versorgung und dem unversorgten Zustand in allen Messbedingungen des OISas deutlich überlegen.

Die Jungen K6 und K8 waren non-User. K6 erlaubte aufgrund eines Mittelohrinfekts. Er wies außerdem eine Hypoplasie der Cochlea im implantierten Ohr auf. Der Junge K8 erlaubte wegen eines Waardenburg-Syndroms und trägt sein CI aus ästhetischen Gründen nicht.

Von den Kindern K2 und K10 (zu kurzes Follow-up) sowie K4 (Wohnortwechsel) lagen keine Ergebnisse mit CI vor.

Zusammengefasst erreichten 3 der 8 Kinder mit vorhandenen Messwerten ein zufriedenstellendes Ergebnis. 3 weitere Kinder erreichten kein gutes Sprachverständnis in Ruhe und 2 Kinder waren non-User.

Eine einseitige Ertaubung im Kindesalter kann zu einer Verzögerung der Entwicklung und zu Schulproblemen führen (Bess et al., 1984). Eine CI-Implantation ermöglicht die Wiederherstellung oder das erstmalige Erreichen von Hörvermögen auf der ertaubten Seite. Studien mit einem (Plontke et al., 2013) oder wenigen ( $n = 3$ ) Patienten (Hasepass et al., 2013) zeigten erste positive Ergebnisse durch eine CI-Versorgung.

In größeren Arbeiten konnten die ersten Ergebnisse bestätigt werden. Arndt et al. (2015) konnten bei 9 postlingual ertaubten Kindern eine signifikante Verbesserung des Richtungshörens und des Sprachverständnisses im Störgeräusch nachweisen. Ebenfalls signifikant war die Verbesserung im SSQ. Zwei Kinder mit kongenitaler Ertaubung erzielten schlechte Hörergebnisse (Arndt et al., 2015). Vergleichbare Ergebnisse fanden Tavora-Vieira et al. (2015a) bei 4 Kindern. Ein postlingual ertaubtes Kind konnte früh vom CI profitieren, während von 3 kongenital ertaubten Kindern nur ein früh implantiertes durch die CI-Versorgung profitierte. Im Gegensatz dazu konnten Thomas et al. (2017) in einer Arbeit mit 21 kongenital ertaubten Kindern in 3 Messbedingungen im Störgeräusch ( $S_0N_0$ ,  $S_0N_{SSD}$ ,  $S_{SSD}N_{NH}$ ) eine signifikante Verbesserung nachweisen. Die Autoren fanden keinen signifikanten Unterschied zwischen früh ( $< 6$  Jahre alt) und spät ( $> 6$  Jahre alt) versorgten Kindern. Die Autoren wiesen darauf hin, dass 3 von 5 Patienten mit einer Hörerfahrung von mindestens 3

Jahren ihr CI nur eingeschränkt oder gar nicht nutzen. Ein relativ hoher Anteil an non-Usern lag auch in der vorliegenden Studie vor (2 von 8).

Polonenko et al. (2017) werteten die Tragedauer und die Hörumgebung von 7 Kindern durch Auslesen des Sprachprozessors aus. 5 Kinder waren kongenital ertaubt und wurden vor dem Ende des vierten Lebensjahrs implantiert, außerdem waren zwei postlingual erlaubte Kinder eingeschlossen. Alle beschriebenen Kinder trugen ihr CI regelmäßig, der Mittelwert lag bei 7,4 Stunden/Tag.

Eine CI-Implantation kann zu einer Reorganisation veränderter Hirnaktivität bei einseitiger Ertaubung bei Kindern führen. Nach 14 Monaten CI-Nutzung lag bei einem Kind ein altersentsprechendes Erregungsmuster (kortikales akustisch evoziertes Potenzial) vor (Sharma et al., 2016).

Die in der Literatur vorbeschriebenen Ergebnisse bei implantierten Kindern waren größtenteils positiv. In mehreren Arbeiten konnte eine Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch nachgewiesen werden. Es gibt einige Hinweise, dass kongenital implantierte Kinder zu schlechteren Ergebnissen neigen als postlingual erlaubte Kinder. Die 8 Kinder der vorliegenden Studie erreichten im Vergleich zur Studienlage eher schwache Ergebnisse. Einen Einfluss hatten vermutlich die schlechten Deutschkenntnisse von 3 der 8 Kinder und damit einhergehende Einschränkungen des Hörtrainings und der Nachsorge.

## 4.7 Kritik und Limitationen

Zentrales Problem der vorliegenden Arbeit war der retrospektive Ansatz. Die Auswahl und Einteilung der Patienten konnte nur anhand der vorliegenden Daten erfolgen. Die durchgeführten Untersuchungen entsprachen teilweise nicht den Vorschlägen des internationalen Konsensus (Van de Heyning et al., 2016). Die Messung des Sprachverständnisses im Störgeräusch erfolgte nicht in der Messbedingung  $S_{SSD}N_{NH}$ , in der der kombinierte Kopfschatteneffekt untersucht wird. Laut internationalem Konsensus hätte die Hörqualität mit dem SSQ Fragebogen untersucht werden sollen.

Ein weiteres Problem waren fehlende Messwerte. Im klinischen Verlauf wurden die Hörtests und Fragebögen teilweise nicht oder nicht vollständig zu jedem geforderten Zeitpunkt durchgeführt. In einem prospektiven Studienprotokoll wäre es möglich gewesen, dass ein Großteil der Patienten alle Messungen zum geforderten Zeitpunkt erhält.

Die Erhebung der beschriebenen Fragebögen, insbesondere die des NCIQ, wurde erst begonnen, nachdem schon ein Teil der beschriebenen Patienten implantiert war. Vor der CI-Versorgung wurden die Fragebögen nur mit wenigen Patienten durchgeführt.

Ebenfalls einen Einfluss könnte die Eröffnung des CI-Rehabilitationszentrums auf die Ergebnisse haben. Später implantierte Patienten konnten an einer strukturierten Intervallrehabilitation teilnehmen und so ihr Hörvermögen möglicherweise verbessern.

Eine Beeinflussung der Auswertung ist bei einer nicht randomisierten retrospektiven Studie möglich. Durch die Auswahl des am nächsten am Zeitpunkt 12 Monate nach der Erstanpassung gemessenen Wertes als zentralen Vergleichswert wurde versucht alle Patienten einfließen zu lassen. Eine Beeinflussung durch den Ausschluss von Patienten (z.B. Abbruch der Rehabilitation wegen schlechten Ergebnissen nach 6 Monaten) wurde durch die Auswahl des Wertes vermieden.

Die Anzahl beschriebener Patienten der vorliegenden Studie war im Vergleich zu bereits publizierten Arbeiten groß. Allerdings ist es in einzelnen Untergruppen nur bedingt möglich Aussagen über die Prognose der Patienten zu tätigen. Hier sind größere Studien nötig, um eine fundierte Aussage über die Prognose machen zu können und dem Patienten eine evidenzbasierte Medizin zu ermöglichen.

## 5. Zusammenfassung

Über viele Jahre wurden die Auswirkungen einseitiger Ertaubung auf das Sprachverständnis im Störgeräusch, das Richtungshören und die Hör- und Lebensqualität der betroffenen Patienten unterschätzt. Durch die CI-Implantation bei einseitiger Ertaubung bietet sich inzwischen die Möglichkeit binaurales Hörvermögen wiederherzustellen.

Ziel dieser Arbeit war die retrospektive Analyse der in der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde in Tübingen bis zum Ende des Jahres 2016 mit einem CI versorgten SSD Patienten, insbesondere in der Hinsicht auf das Sprachverständnis im Störgeräusch und die Lebensqualität. In der Diagnostik und Nachsorge der Patienten wurden ausschließlich etablierte und validierte audiometrische Messungen und Fragebögen verwendet. Hierzu gehörten die Reintonaudiometrie, der Freiburger Sprachtest, der Oldenburger Satztest, der NCIQ und die ADS.

Im Zentrum der Analyse standen die Gruppe A (n = 63), die alle Kriterien des internationalen Konsensus erfüllte, und die Gruppe B (n = 25), in der Patienten zusammengefasst wurden, die aufgrund einer Ertaubungsdauer von über 15 Jahren aus Gruppe A ausgeschlossen werden mussten.

In beiden Gruppen konnte eine signifikante Verbesserung des Sprachverständnisses in Ruhe im Freiburger Sprachtest gefunden werden. Es zeigten sich signifikant bessere Ergebnisse in Gruppe A. Das Sprachverständnis im Störgeräusch in den Messbedingungen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{NH}$  war in beiden Gruppen nach der CI-Versorgung signifikant verbessert. Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen konnte nicht nachgewiesen werden.

Ebenfalls zeigte sich eine signifikante Verbesserung des Gesamtscores des NCIQs. Auf eine Unterteilung in Gruppe A und B wurde aufgrund eines fehlenden signifikanten Unterschieds verzichtet. Es zeigte sich eine hoch signifikante Korrelation des Gesamtscore des NCIQ mit dem Score der ADS. Patienten mit

auffälligen ADS Werten erreichten im Vergleich deutlich schlechtere Werte im NCIQ.

Zusammenfassend kann die vorliegende Arbeit als weitere Bestätigung der Indikation zur CI-Versorgung einseitig ertaubter Patienten gesehen werden. Auch langzeitertaubte Patienten profitierten insbesondere durch ein verbessertes Sprachverständnis im Störgeräusch. Weitere Untersuchungen sind notwendig um die Indikations- und Prognosestellung insbesondere bei Patienten mit seltenen Ursachen einseitiger Ertaubung zu erleichtern.

## 6. Liste der Veröffentlichungen

Eusebia Schäfer, Ana-Elena Vedoveli, Giulia Righetti, Philipp Gamerdinger, Marlies Knipper, Anke Tropitzsch, Hans-Otto Karnath, Christoph Braun, and Yiwen Li Hegner. Activities of the Right Temporo-Parieto-Occipital Junction Reflect Spatial Hearing Ability in Cochlear Implant Users, *frontiers in Neurocience*. 2021; Vol. 15, Page 231, doi: 10.3389/fnins.2021.613101

Rad A, Schade-Mann T, Gamerdinger P, Yanus GA, Schulte B, Müller M, Imyanitov EN, Biskup S, Löwenheim H, Tropitzsch A, Vona B. Aberrant COL11A1 splicing causes prelingual autosomal dominant nonsyndromic hearing loss in the DFNA37 locus. *Hum Mutat*. 2021 Jan;42(1):25-30. doi: 10.1002/humu.24136. Epub 2020 Nov 11. PMID: 33169910.

## 7. Literaturverzeichnis

- Agrawal, Y., Platz, E.A., Niparko, J.K. 2008. Prevalence of hearing loss and differences by demographic characteristics among US adults: data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2004. *Arch Intern Med* 168, 1522-30.
- Akeroyd, M.A. 2006. The psychoacoustics of binaural hearing. *Int J Audiol* 45 Suppl 1, S25-33.
- Alhanbali, S., Dawes, P., Lloyd, S., Munro, K.J. 2017. Self-Reported Listening-Related Effort and Fatigue in Hearing-Impaired Adults. *Ear Hear* 38, e39-e48.
- Alves, M., Martins, J.H., Moura, J.E., Ramos, D., Alves, H., Oliveira, G., Magalhaes, I., Silva, L., Ribeiro, C., Paiva, A.D. 2014. Auditory rehabilitation after cochlear implantation in adults with hearing impairment after head trauma. *Cochlear Implants Int* 15, 312-7.
- Arndt, S., Prosse, S., Laszig, R., Wesarg, T., Aschendorff, A., Hassepass, F. 2015. Cochlear implantation in children with single-sided deafness: does aetiology and duration of deafness matter? *Audiol Neurootol* 20 Suppl 1, 21-30.
- Arndt, S., Laszig, R., Aschendorff, A., Hassepass, F., Beck, R., Wesarg, T. 2016. [Cochlear implant treatment of patients with single-sided deafness or asymmetric hearing loss. German version]. *HNO*.
- Arndt, S., Laszig, R., Aschendorff, A., Hassepass, F., Beck, R., Wesarg, T. 2017. Cochlear implant treatment of patients with single-sided deafness or asymmetric hearing loss. *HNO*.
- Arndt, S., Aschendorff, A., Laszig, R., Beck, R., Schild, C., Kroeger, S., Ihorst, G., Wesarg, T. 2011a. Comparison of pseudobinaural hearing to real binaural hearing rehabilitation after cochlear implantation in patients with unilateral deafness and tinnitus. *Otol Neurotol* 32, 39-47.
- Arndt, S., Laszig, R., Aschendorff, A., Beck, R., Schild, C., Hassepass, F., Ihorst, G., Kroeger, S., Kirchem, P., Wesarg, T. 2011b. [Unilateral deafness and cochlear implantation: audiological diagnostic evaluation and outcomes]. *HNO* 59, 437-46.
- Arts, R.A., George, E.L., Griessner, A., Zierhofer, C., Stokroos, R.J. 2015. Tinnitus Suppression by Intracochlear Electrical Stimulation in Single-Sided Deafness: A Prospective Clinical Trial - Part I. *Audiol Neurootol* 20, 294-313.
- Arts, R.A., George, E.L., Janssen, M., Griessner, A., Zierhofer, C., Stokroos, R.J. 2016. Tinnitus Suppression by Intracochlear Electrical Stimulation in Single Sided Deafness - A Prospective Clinical Trial: Follow-Up. *PLoS One* 11, e0153131.
- Avan, P., Giraudet, F., Buki, B. 2015. Importance of binaural hearing. *Audiol Neurootol* 20 Suppl 1, 3-6.
- Axelsson, A., Ringdahl, A. 1989. Tinnitus--a study of its prevalence and characteristics. *Br J Audiol* 23, 53-62.
- Bento, R.F., Gebrim, E.M., Magalhaes, A.T., Pereira, L.V., Fonseca, A.C. 2016. Minimally Invasive Surgery for Intracochlear Schwannoma Removal and Simultaneous Cochlear Implantation. *Int Arch Otorhinolaryngol* 20, 271-4.
- Bess, F.H., Tharpe, A.M. 1984. Unilateral hearing impairment in children. *Pediatrics* 74, 206-16.
- Bilecen, D., Seifritz, E., Radu, E.W., Schmid, N., Wetzels, S., Probst, R., Scheffler, K. 2000. Cortical reorganization after acute unilateral hearing loss traced by fMRI. *Neurology* 54, 765-7.
- Brant, L.J., Fozard, J.L. 1990. Age changes in pure-tone hearing thresholds in a longitudinal study of normal human aging. *J Acoust Soc Am* 88, 813-20.
- Buchner, A., Gartner, L. 2017. [Technical advancements in cochlear implants : State of the art]. *HNO* 65, 276-289.
- Carlson, M.L., Driscoll, C.L., Gifford, R.H., McMenomey, S.O. 2012. Cochlear implantation: current and future device options. *Otolaryngol Clin North Am* 45, 221-48.

- Carlson, M.L., Neff, B.A., Sladen, D.P., Link, M.J., Driscoll, C.L. 2016. Cochlear Implantation in Patients With Intracochlear and Intralabyrinthine Schwannomas. *Otol Neurotol* 37, 647-53.
- Chang, J.L., Pross, S.E., Findlay, A.M., Mizuiri, D., Henderson-Sabes, J., Garrett, C., Nagarajan, S.S., Cheung, S.W. 2016. Spatial plasticity of the auditory cortex in single-sided deafness. *Laryngoscope* 126, 2785-2791.
- Cherry, E.C. 1953. Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *Journal of the Acoustical Society of America* 25, 975-979.
- Chia, E.M., Wang, J.J., Rochtchina, E., Cumming, R.R., Newall, P., Mitchell, P. 2007. Hearing impairment and health-related quality of life: the Blue Mountains Hearing Study. *Ear Hear* 28, 187-95.
- Clark, G., Hallworth, J. 1976. A multiple-electrode array for a cochlear implant. *Journal of Laryngology and Otology* 90, 623-627.
- Dagna, F., Murri, A., Albera, R., Cuda, D. 2016. Cochlear implantation in delayed sudden hearing loss after conservative vestibular schwannoma surgery. *Acta Otorhinolaryngol Ital* 36, 428-430.
- Dillon, M.T., Buss, E., Anderson, M.L., King, E.R., Deres, E.J., Buchman, C.A., Brown, K.D., Pillsbury, H.C. 2017. Cochlear Implantation in Cases of Unilateral Hearing Loss: Initial Localization Abilities. *Ear Hear*.
- Dofek, S. 2019. Genotyp-Phänotyp-Korrelation bei Schwerhörigkeit: Genetische Varianten im peripheren Hörsystem und die Hörleistung mit Cochlea-Implantat. Dissertation.
- Dorbeau, C., Galvin, J., Fu, Q.J., Legris, E., Marx, M., Bakhos, D. 2018. Binaural Perception in Single-Sided Deaf Cochlear Implant Users with Unrestricted or Restricted Acoustic Hearing in the Non-Implanted Ear. *Audiol Neurootol* 23, 187-197.
- Douglas, S.A., Yeung, P., Daudia, A., Gatehouse, S., O'Donoghue, G.M. 2007. Spatial hearing disability after acoustic neuroma removal. *Laryngoscope* 117, 1648-51.
- Finbow, J., Bance, M., Aiken, S., Gulliver, M., Verge, J., Caissie, R. 2015. A Comparison Between Wireless CROS and Bone-anchored Hearing Devices for Single-sided Deafness: A Pilot Study. *Otology & Neurotology* 36, 819-825.
- Finke, M., Strauss-Schier, A., Kludt, E., Buchner, A., Illg, A. 2017. Speech intelligibility and subjective benefit in single-sided deaf adults after cochlear implantation. *Hear Res* 348, 112-119.
- Friedmann, D.R., Ahmed, O.H., McMenomey, S.O., Shapiro, W.H., Waltzman, S.B., Roland, J.T., Jr. 2016. Single-sided Deafness Cochlear Implantation: Candidacy, Evaluation, and Outcomes in Children and Adults. *Otol Neurotol* 37, e154-60.
- Galvin, J.J., 3rd, Fu, Q.J., Wilkinson, E.P., Mills, D., Hagan, S.C., Lupo, J.E., Padilla, M., Shannon, R.V. 2019. Benefits of Cochlear Implantation for Single-Sided Deafness: Data From the House Clinic-University of Southern California-University of California, Los Angeles Clinical Trial. *Ear Hear* 40, 766-781.
- Garcia, J.M., Aparicio, M.L., Penaranda, A., Baron, C., Cutha, P. 2009. Auditory performance and central auditory processing after cochlear implantation in patients deafened by meningitis. *Cochlear Implants Int* 10 Suppl 1, 48-52.
- Gartrell, B.C., Jones, H.G., Kan, A., Buhr-Lawler, M., Gubbels, S.P., Litovsky, R.Y. 2014. Investigating long-term effects of cochlear implantation in single-sided deafness: a best practice model for longitudinal assessment of spatial hearing abilities and tinnitus handicap. *Otol Neurotol* 35, 1525-32.
- Goebel, G., Hiller, W. 1994. The tinnitus questionnaire. A standard instrument for grading the degree of tinnitus. Results of a multicenter study with the tinnitus questionnaire. *HNO* 42(3), 166-172.

- Grossmann, W., Brill, S., Moeltner, A., Mlynski, R., Hagen, R., Radeloff, A. 2016. Cochlear Implantation Improves Spatial Release From Masking and Restores Localization Abilities in Single-sided Deaf Patients. *Otol Neurotol* 37, 658-64.
- Hallam, R.S., Jakes, S.C., Hinchcliffe, R. 1988. Cognitive variables in tinnitus annoyance. *British Journal of Clinical Psychology* 27, 213-222.
- Hanss, J., Veuillet, E., Adjout, K., Besle, J., Collet, L., Thai-Van, H. 2009. The effect of long-term unilateral deafness on the activation pattern in the auditory cortices of French-native speakers: influence of deafness side. *BMC Neurosci* 10, 23.
- Hardy, M. 1938. The length of the organ of corti in man. *The American Journal of Anatomy* 62, 291-311.
- Harkonen, K., Kivekas, I., Rautiainen, M., Kotti, V., Sivonen, V., Vasama, J.P. 2015. Single-Sided Deafness: The Effect of Cochlear Implantation on Quality of Life, Quality of Hearing, and Working Performance. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 77, 339-45.
- Hasepass, F., Arndt, S., Aschendorff, A., Laszig, R., Wesarg, T. 2016. Cochlear implantation for hearing rehabilitation in single-sided deafness after translabyrinthine vestibular schwannoma surgery. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 273, 2373-83.
- Hasepass, F., Aschendorff, A., Wesarg, T., Kroger, S., Laszig, R., Beck, R.L., Schild, C., Arndt, S. 2013. Unilateral deafness in children: audiologic and subjective assessment of hearing ability after cochlear implantation. *Otol Neurotol* 34, 53-60.
- Hautzinger, M., Bailer, M., Hofmeister, D., Keller, F. 2012. Allgemeine Depressionsskala, 2., überarbeitete und neu normierte Auflage. Göttingen: Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG.
- Hinderink, J.B., Krabbe, P.F., Van Den Broek, P. 2000. Development and application of a health-related quality-of-life instrument for adults with cochlear implants: the Nijmegen cochlear implant questionnaire. *Otolaryngol Head Neck Surg* 123, 756-65.
- Hol, M.K., Bosman, A.J., Snik, A.F., Mylanus, E.A., Cremers, C.W. 2005. Bone-anchored hearing aids in unilateral inner ear deafness: an evaluation of audiometric and patient outcome measurements. *Otol Neurotol* 26, 999-1006.
- Holder, J.T., O'Connell, B., Hedley-Williams, A., Wanna, G. 2017. Cochlear implantation for single-sided deafness and tinnitus suppression. *Am J Otolaryngol* 38, 226-229.
- Hoth, S. 2016. [The Freiburg speech intelligibility test : A pillar of speech audiometry in German-speaking countries]. *HNO* 64, 540-8.
- Jacob, R., Stelzig, Y., Nopp, P., Schleich, P. 2011a. [Audiological results with cochlear implants for single-sided deafness]. *HNO* 59, 453-460.
- Jacob, R., Stelzig, Y., Nopp, P., Schleich, P. 2011b. Audiologische Ergebnisse mit Cochleaimplantat bei einseitiger Taubheit. *HNO* 49.
- Jeppesen, J., Faber, C.E. 2013. Surgical complications following cochlear implantation in adults based on a proposed reporting consensus. *Acta Otolaryngol* 133, 1012-21.
- Kollmeier, B., Wesselkamp, M. 1997. Development and evaluation of a German sentence test for objective and subjective speech intelligibility assessment. *J Acoust Soc Am* 102, 2412-21.
- Kronenberg, J., Horowitz, Z., Hildesheimer, M. 1999. Intracochlear schwannoma and cochlear implantation. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 108, 659-60.
- Kurre, A., van Gool, C.J., Bastiaenen, C.H., Gloor-Juzi, T., Straumann, D., de Bruin, E.D. 2009. Translation, cross-cultural adaptation and reliability of the german version of the dizziness handicap inventory. *Otol Neurotol* 30, 359-67.
- Langers, D.R., van Dijk, P., Backes, W.H. 2005. Lateralization, connectivity and plasticity in the human central auditory system. *Neuroimage* 28, 490-9.
- Legris, E., Galvin, J., Roux, S., Aoustin, J.M., Bakhos, D. 2020. Development of cortical auditory responses to speech in noise in unilaterally deaf adults following cochlear implantation. *PLoS One* 15, e0239487.

- Lieu, J.E. 2013. Unilateral hearing loss in children: speech-language and school performance. *B-ENT Suppl* 21, 107-15.
- Lieu, J.E.C., N., T.-M., Karzon, R.K., Piccirillo, J.F. 2010. Unilateral Hearing Loss is Associated with Worse Speechlanguage Scores in Children: A Case-Control Study. *Pediatrics* 125(6), e1348–e1355.
- Liu, Y.W., Cheng, X., Chen, B., Peng, K., Ishiyama, A., Fu, Q.J. 2018. Effect of Tinnitus and Duration of Deafness on Sound Localization and Speech Recognition in Noise in Patients With Single-Sided Deafness. *Trends Hear* 22, 2331216518813802.
- Lloyd, S.K., Glynn, F.J., Rutherford, S.A., King, A.T., Mawman, D.J., O'Driscoll, M.P., Evans, D.G., Ramsden, R.T., Freeman, S.R. 2014. Ipsilateral cochlear implantation after cochlear nerve preserving vestibular schwannoma surgery in patients with neurofibromatosis type 2. *Otol Neurotol* 35, 43-51.
- Louza, J., Hempel, J.M., Krause, E., Berghaus, A., Muller, J., Braun, T. 2017. Patient benefit from Cochlear implantation in single-sided deafness: a 1-year follow-up. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 274, 2405-2409.
- Ma, A.K., Patel, N. 2020. Endoscope-assisted Partial Cochlectomy for Intracochlear Schwannoma With Simultaneous Cochlear Implantation: A Case Report. *Otol Neurotol* 41, 334-338.
- Mertens, G., De Bodt, M., Van de Heyning, P. 2017. Evaluation of Long-Term Cochlear Implant Use in Subjects With Acquired Unilateral Profound Hearing Loss: Focus on Binaural Auditory Outcomes. *Ear Hear* 38, 117-125.
- Mertens, G., Kleine Punte, A., De Ridder, D., Van de Heyning, P. 2013. Tinnitus in a single-sided deaf ear reduces speech reception in the nontinnitus ear. *Otol Neurotol* 34, 662-6.
- Mertens, G., Kleine Punte, A., De Bodt, M., Van de Heyning, P. 2015. Binaural auditory outcomes in patients with postlingual profound unilateral hearing loss: 3 years after cochlear implantation. *Audiol Neurootol* 20 Suppl 1, 67-72.
- Mertens, G., Desmet, J., De Bodt, M., Van de Heyning, P. 2016. Prospective case-controlled sound localisation study after cochlear implantation in adults with single-sided deafness and ipsilateral tinnitus. *Clin Otolaryngol* 41, 511-8.
- Mukherjee, P., Ramsden, J.D., Donnelly, N., Axon, P., Saeed, S., Fagan, P., Irving, R.M. 2013. Cochlear implants to treat deafness caused by vestibular schwannomas. *Otol Neurotol* 34, 1291-8.
- Nguyen, S., Cloutier, F., Philippon, D., Cote, M., Bussieres, R., Backous, D.D. 2016. Outcomes review of modern hearing preservation technique in cochlear implant. *Auris Nasus Larynx* 43, 485-8.
- Persson, P., Harder, H., Arlinger, S., Magnuson, B. 2001. Speech recognition in background noise: monaural versus binaural listening conditions in normal-hearing patients. *Otol Neurotol* 22, 625-30.
- Peters, J.P., van Zon, A., Smit, A.L., van Zanten, G.A., de Wit, G.A., Stegeman, I., Grolman, W. 2015. CINGLE-trial: cochlear implantation for siNGLE-sided deafness, a randomised controlled trial and economic evaluation. *BMC Ear Nose Throat Disord* 15, 3.
- Plontke, S.K., Kosling, S., Rahne, T. 2018. Cochlear Implantation After Partial or Subtotal Cochleoectomy for Intracochlear Schwannoma Removal-A Technical Report. *Otol Neurotol* 39, 365-371.
- Plontke, S.K., Heider, C., Koesling, S., Hess, S., Bieseke, L., Goetze, G., Rahne, T. 2013. Cochlear implantation in a child with posttraumatic single-sided deafness. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 270, 1757-61.
- Polonenko, M.J., Papsin, B.C., Gordon, K.A. 2017. Children With Single-Sided Deafness Use Their Cochlear Implant. *Ear Hear*.

- Prejban, D.A., Hamzavi, J.S., Arnoldner, C., Liepins, R., Honeder, C., Kaider, A., Gstottner, W., Baumgartner, W.D., Riss, D. 2018. Single Sided Deaf Cochlear Implant Users in the Difficult Listening Situation: Speech Perception and Subjective Benefit. *Otol Neurotol* 39, e803-e809.
- Pross, S.E., Chang, J.L., Mizuiri, D., Findlay, A.M., Nagarajan, S.S., Cheung, S.W. 2015. Temporal Cortical Plasticity in Single-Sided Deafness: A Functional Imaging Study. *Otol Neurotol* 36, 1443-9.
- Rahne, T., Plontke, S.K. 2016. Functional Result After Cochlear Implantation in Children and Adults With Single-sided Deafness. *Otol Neurotol* 37, e332-40.
- Ramos Macias, A., Falcon-Gonzalez, J.C., Manrique Rodriguez, M., Morera Perez, C., Garcia-Ibanez, L., Cenjor Espanol, C., Coudert-Koall, C., Killian, M. 2018. One-Year Results for Patients with Unilateral Hearing Loss and Accompanying Severe Tinnitus and Hyperacusis Treated with a Cochlear Implant. *Audiol Neurootol* 23, 8-19.
- Rask-Andersen, H., Liu, W., Erixon, E., Kinnefors, A., Pfaller, K., Schrott-Fischer, A., Glueckert, R. 2012. Human cochlea: anatomical characteristics and their relevance for cochlear implantation. *Anat Rec (Hoboken)* 295, 1791-811.
- Roemer, A., Lenarz, T., Lesinski-Schiedat, A. 2017. Cochlear implantation improves hearing and vertigo in patients after removal of vestibular schwannoma. *Int Tinnitus J* 21, 2-6.
- Rosli, M., Hoth, S., Baumann, I., Praetorius, M., Plinkert, P.K. 2015. [The impact of cochlear implants on the quality of life of patients with single-sided deafness]. *HNO* 63, 182-8.
- Ruscetta, M.N., Arjmand, E.M., Pratt, S.R. 2005. Speech recognition abilities in noise for children with severe-to-profound unilateral hearing impairment. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 69, 771-9.
- Salt, A.N., Hullar, T.E. 2010. Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hear Res* 268, 12-21.
- Sanna, M., Medina, M.D., Macak, A., Rossi, G., Sozzi, V., Prasad, S.C. 2016. Vestibular Schwannoma Resection with Ipsilateral Simultaneous Cochlear Implantation in Patients with Normal Contralateral Hearing. *Audiol Neurootol* 21, 286-295.
- Schumann, A., Hast, A., Hoppe, U. 2014. Speech Performance and Training Effects in the Cochlear Implant Elderly. *Audiol Neurootol* 19, 45-48.
- Schutt, C.A., Kveton, J.F. 2014. Cochlear implantation after resection of an intralabyrinthine schwannoma. *Am J Otolaryngol* 35, 257-60.
- Sharma, A., Glick, H., Campbell, J., Torres, J., Dorman, M., Zeitler, D.M. 2016. Cortical Plasticity and Reorganization in Pediatric Single-sided Deafness Pre- and Postcochlear Implantation: A Case Study. *Otol Neurotol* 37, e26-34.
- Sivam, S.K., Syms, C.A., 3rd, King, S.M., Perry, B.P. 2017. Consideration for routine outpatient pediatric cochlear implantation: A retrospective chart review of immediate post-operative complications. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 94, 95-99.
- Sladen, D.P., Carlson, M.L., Dowling, B.P., Olund, A.P., Teece, K., DeJong, M.D., Breneman, A., Peterson, A., Beatty, C.W., Neff, B.A., Driscoll, C.L. 2017. Early outcomes after cochlear implantation for adults and children with unilateral hearing loss. *Laryngoscope* 127, 1683-1688.
- Tavora-Vieira, D., Rajan, G.P. 2015a. Cochlear implantation in children with congenital and noncongenital unilateral deafness: a case series. *Otol Neurotol* 36, 235-9.
- Tavora-Vieira, D., Marino, R., Acharya, A., Rajan, G.P. 2015b. The impact of cochlear implantation on speech understanding, subjective hearing performance, and tinnitus perception in patients with unilateral severe to profound hearing loss. *Otol Neurotol* 36, 430-6.

- Tavora-Vieira, D., Marino, R., Acharya, A., Rajan, G.P. 2016. Cochlear implantation in adults with unilateral deafness: A review of the assessment/evaluation protocols. *Cochlear Implants Int* 17, 184-189.
- Tavora-Vieira, D., Boisvert, I., McMahon, C.M., Maric, V., Rajan, G.P. 2013a. Successful outcomes of cochlear implantation in long-term unilateral deafness: brain plasticity? *Neuroreport* 24, 724-9.
- Tavora-Vieira, D., Marino, R., Krishnaswamy, J., Kuthbutheen, J., Rajan, G.P. 2013b. Cochlear implantation for unilateral deafness with and without tinnitus: a case series. *Laryngoscope* 123, 1251-5.
- Thomas, J.P., Neumann, K., Dazert, S., Voelter, C. 2017. Cochlear Implantation in Children With Congenital Single-Sided Deafness. *Otol Neurotol* 38, 496-503.
- Usami, S.I., Kitoh, R., Moteki, H., Nishio, S.Y., Kitano, T., Kobayashi, M., Shinagawa, J., Yokota, Y., Sugiyama, K., Watanabe, K. 2017. Etiology of single-sided deafness and asymmetrical hearing loss. *Acta Otolaryngol* 137, S2-S7.
- Van de Heyning, P., Vermeire, K., Diebl, M., Nopp, P., Anderson, I., De Ridder, D. 2008. Incapacitating Unilateral Tinnitus in Single-Sided Deafness Treated by Cochlear Implantation. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* 117, 645-652.
- Van de Heyning, P., Tavora-Vieira, D., Mertens, G., Van Rompaey, V., Rajan, G.P., Muller, J., Hempel, J.M., Leander, D., Polterauer, D., Marx, M., Usami, S.I., Kitoh, R., Miyagawa, M., Moteki, H., Smilsky, K., Baumgartner, W.D., Keintzel, T.G., Sprinzl, G.M., Wolf-Magele, A., Arndt, S., Wesarg, T., Zirn, S., Baumann, U., Weissgerber, T., Rader, T., Hagen, R., Kurz, A., Rak, K., Stokroos, R., George, E., Polo, R., Medina, M.D.M., Henkin, Y., Hilly, O., Ulanovski, D., Rajeswaran, R., Kameswaran, M., Di Gregorio, M.F., Zernotti, M.E. 2016. Towards a Unified Testing Framework for Single-Sided Deafness Studies: A Consensus Paper. *Audiol Neurootol* 21, 391-398.
- Vashishth, A., Fulcheri, A., Prasad, S.C., Bassi, M., Rossi, G., Caruso, A., Sanna, M. 2018. Cochlear Implantation in Cochlear Ossification: Retrospective Review of Etiologies, Surgical Considerations, and Auditory Outcomes. *Otol Neurotol* 39, 17-28.
- Vermeire, K., Van de Heyning, P. 2009. Binaural hearing after cochlear implantation in subjects with unilateral sensorineural deafness and tinnitus. *Audiol Neurootol* 14, 163-71.
- von Gablenz, P., Hoffmann, E., Holube, I. 2017. [Prevalence of hearing loss in Northern and Southern Germany. German version]. *HNO*.
- Welsh, L.W., Welsh, J.J., Rosen, L.F., Dragonette, J.E. 2004. Functional impairments due to unilateral deafness. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 113, 987-93.
- Wie, O.B., Pripp, A.H., Tvette, O. 2010. Unilateral Deafness in Adults: Effects on Communication and Social Interaction. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* 119(11), 772-781.
- Wilson, B.S., Finley, C.C., Lawson, D.T., Wolford, R.D., Eddington, D.K., Rabinowitz, W.M. 1991. Better speech recognition with cochlear implants. *Nature* 352, 236-238.
- Zenner, H.P. 2010. Die Kommunikation des Menschen: Hören und Sprechen, Physiologie des Menschen, Vol. 31. Schmidt, R.F., Lang, F., Heckmann, M., Springer Medizin Verlag Heidelberg. pp. 315-332.

## **Internetquellen**

### **Abbildungen**

Anatomie des Ohres (Abb. 1)

<http://www.biographixmedia.com/human/ear-anatomy.html>, letzter Zugriff 30.06.2017

Ausgusspräparat eines Innenohrs (Abb. 2)

Von Welleschik - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1533174>, letzter Zugriff 30.06.2017

Hörkurve des Menschen (Abb. 4)

<http://www.beyenbach.de/physik/uhoeer.htm>, letzter Zugriff 30.06.2017

Cochlea Implantat in situ Advanced bionics (Abb. 5)

<https://advancedbionics.com/content/dam/advancedbionics/Images/Global/Graphs%20and%20Illustrations/How-a-cochlear-implant-works.jpg>, Zugriff 27.06.2017

Prozessor und Implantat MED-EL (Abb. 6)

<http://www.medel.com/img/630f49aed239b224d5158c5bfe363e72.png>, Zugriff 27.06.2017

Elektrodenlage in Cochlea Cochlear (Abb. 7)

[http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/43e3246e-096b-4bfb-ae5b-cc398f02ce0d/en\\_product\\_cochlearimplant\\_demonstrationofcochlearimplantinsertedinsidethecochlea\\_humancochlea\\_551x285\\_173kb.jpg](http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/43e3246e-096b-4bfb-ae5b-cc398f02ce0d/en_product_cochlearimplant_demonstrationofcochlearimplantinsertedinsidethecochlea_humancochlea_551x285_173kb.jpg) , Zugriff 27.06.2017

## **Erklärung zum Eigenanteil**

Die Arbeit wurde in der Universitätsklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde unter Betreuung von Prof. Dr. med. Hubert Löwenheim durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. med. Anke Tropitzsch, der ärztlichen Leiterin des Comprehensive Cochlear Implant Center Tübingen und PD Dr. phil. nat. Marcus Müller.

Die Patientendaten wurden in einer von Dr. med. Saskia Dofek erstellten Access® Datenbank erfasst. Eine Erweiterung der Datenbank wurde durch mich durchgeführt.

Erfasst wurden Patientendaten und Messergebnisse der Hörtests, die im Rahmen der Betreuung der Patienten im HörZentrum der Universitätsklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde Tübingen durchgeführt wurden.

Die statistische Beratung erfolgte durch Dr. Gunnar Blumenstock.

Die statistische Auswertung der erfassten Daten erfolgte in enger Rücksprache mit PD Dr. phil. nat. Marcus Müller.

Ich versichere, das Manuskript eigenständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich abschließend noch allen Menschen danken, die mich persönlich oder wissenschaftlich bei der Erstellung meiner Dissertationsschrift unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt einem Betreuer Prof. Hubert Löwenheim sowie Dr. med. Anke Tropitzsch, die für die Konzeption der Arbeit wegweisende Unterstützung einbrachten.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Dr. phil. nat. Marcus Müller, der insbesondere bei Fragen zur statistischen Auswertung der Daten stets bereit war eine Hilfestellung zu leisten.

Für die statistische Beratung möchte ich mich bei Herrn Dr. Gunnar Blumenstock herzlich bedanken.

Ein weiterer großer Dank geht an das gesamte Team des HörZentrums der Universitätsklinik für Hals-, Nasen-, und Ohrenheilkunde in Tübingen. Im Verlauf der Entstehung dieser Dissertationsschrift wurde ich selbst vom Patienten zum Mitarbeiter und das Team des HörZentrums spielte eine wesentliche Rolle in meiner persönlichen, beruflichen und wissenschaftlichen Entwicklung.

Ein abschließender Dank geht an mein familiäres und persönliches Umfeld, das auch in Zeiten eher geringeren Fortschritts stets an meiner Seite stand.