

Aus der Klinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Einfluss der Cochlea-Implantat-Versorgung auf Sprachverstehen,
Lebensqualität, Tinnitusbelastung und Komorbiditäten von Patienten
mit bilateraler CI-Versorgung

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Andreas Pfluger

aus Singen (Hohentwiel)

Datum der Promotion: 26.06.2022

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis.....	3
Kurzzusammenfassung.....	4
Abstract	6
1. Einleitung.....	7
1.1 Schwerhörigkeit.....	7
1.1.1 Definition und Einteilung	7
1.1.2 Prävalenz	8
1.1.3 Auswirkungen	8
1.1.4 Therapie der Schwerhörigkeit	9
1.2 Das Cochlea-Implantat (CI)	10
1.2.1 Definition und Funktionsweise.....	10
1.2.2 Voraussetzungen und präoperative Diagnostik	11
1.2.3 Indikation.....	11
1.2.4 Einteilung der CI-Kandidaten.....	12
1.3 Binaurales Hören.....	13
1.4 Aktueller Forschungsstand	14
1.4.1 Sprachverstehen und Richtungshören	15
1.4.2 Gesundheitsbezogene Lebensqualität (HRQoL)	17
1.4.3 Tinnitus.....	18
1.4.4 Psychische Komorbiditäten	20
2. Fragestellung	21
3. Methoden	22
3.1 Patienten	22
3.2 Studiendesign	22
3.3 Fragebögen	23
3.3.1 NCIQ	23
3.3.2 SF-36	24
3.3.3 Oldenburger-Inventar (OI)	25
3.3.4 Tinnitus-Fragebogen nach Goebel und Hiller	25
3.3.5 PSQ.....	26
3.3.6 Brief-COPE	27
3.3.7 ADS-L	27
3.3.8 GAD-7	28
3.4 Sprachaudiometrie.....	29
3.4.1 Freiburger Einsilbertest	29

3.4.2 Oldenburger Satztest	30
3.5 Statistische Auswertung	32
4. Ergebnisse	33
4.1 Patientenkohorte	33
4.2 Sprachverstehen	34
4.2.1 Freiburger Einsilbertest	34
4.2.2 OLSA	36
4.2.3 Oldenburger Inventar	42
4.3 Lebensqualität	43
4.3.1 NCIQ	43
4.3.2 SF-36	44
4.4. Tinnitus	46
4.4.1 Tinnitus-Fragebogen (TF)	46
4.5 Psychische Komorbiditäten	48
4.5.1 PSQ	48
4.5.2 Brief-COPE	48
4.5.3 ADS-L	49
4.5.4 GAD-7	50
5. Diskussion	51
5.1 Veränderung des Sprachverstehens	51
5.1.1 Freiburger Einsilbertest	51
5.1.2 Oldenburger Satztest	53
5.1.3 Binaurale Effekte	53
5.1.4 Oldenburger Inventar	55
5.2 Veränderung der Lebensqualität	57
5.2.1 NCIQ	57
5.2.2 SF-36	59
5.3 Veränderung der Tinnitusbelastung	60
5.3.1 Tinnitus-Fragebogen (TF)	60
5.4 Veränderung der psychischen Komorbiditäten	62
5.4.1 PSQ	63
5.4.2 Brief-COPE	63
5.4.3 ADS-L	64
5.4.4 GAD-7	65
5.5 Stärken und Limitationen	66
6. Zusammenfassung	68
7. Literaturverzeichnis	69

Eidesstattliche Versicherung	78
Lebenslauf	79
Publikationsliste	81
Danksagung	82

Abkürzungsverzeichnis

ADS (-K/-L)	Allgemeine Depressionsskala (Kurz-/Langform)
AHL	Asymmetric Hearing Loss
BCI	Bilaterale CI-Versorgung
BERA	Brainstem electric response audiometry
Brief-COPE	Brief Coping Orientation to Problems Experienced
CES-D	Center for Epidemiologic Studies – Depression Scale
CI	Cochlea-Implantat
CT	Computertomografie
CVK	Charité - Campus Virchow Klinikum
dB	Dezibel
DSD	Double-Sided Deafness
DSM-IV	Diagnostic and Statistical Manual for Mental Disorders 4
DGHNOKHC	Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V.
FE	Freiburger Einsilbertest
GAD-7	General-Anxiety-Disorder-7
HL	Hörverlust
HNO	Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
HRQoL	Health-related quality of life
HSM	Hochmair-Schulz-Moser-Satztest
Hz	Hertz
ILD	Interaural level difference

ITD	Interaural time difference
KSS	Körperliche Summenskala
LL	Luftleitung
MOS	Medical Outcomes Study
MRT	Magnetresonanztomografie
NCIQ	Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire
OLSA	Oldenburger-Satztest
OI	Oldenburger-Inventar
PSS	Psychische Summenskala
PSQ	Perceived Stress Questionnaire
RCT	randomisierte kontrollierte Studie
SF-36	Short-Form-36
S/N	Signal-Rausch-Abstand
SPL	Schalldruckpegel
SRV	Signal-Rausch-Verhältnis
SSD	Single-Sided Deafness
SVS	Sprachverständlichkeitsschwelle
TF	Tinnitus-Fragebogen
THI	Tinnitus Handicap Inventory
TQ	Tinnitus Questionnaire
TSA	Tonschwellenaudiometrie
UCI	Unilaterale CI-Versorgung
WHO	World Health Organization

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Einteilung der Schwerhörigkeitsgrade nach WHO (1)
- Tabelle 2: Gruppeneinteilung der CI-Kandidaten (2, 3)
- Tabelle 3: Ergebnisse FE (bei 65 dB SPL im Freifeld)
- Tabelle 4: FE Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI). n = 21
- Tabelle 5: Ergebnisse OLSA im Störgeräusch nach BCI. n = 22
- Tabelle 6: Ergebnisse OLSA im Störgeräusch nach UCI. n = 17
- Tabelle 7: OLSA im Störgeräusch Gruppenvergleich (UCI vs. BCI). n = 17
- Tabelle 8: OLSA im Störgeräusch; Darstellung des Summationseffektes. n = 22
- Tabelle 9: OLSA im Störgeräusch; Darstellung des Kopfschatteneffektes. n = 22
- Tabelle 10: OLSA im Störgeräusch; Darstellung des Squelch-Effektes. n = 22
- Tabelle 11: OI-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI).
- Tabelle 12: NCIQ-Zusatzfragen-Ergebnisse und Gruppenvergleich (UCI vs. BCI).
- Tabelle 13: NCIQ-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI).
n = 22
- Tabelle 14: SF-36-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI).
n = 22
- Tabelle 15: TF-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI). n
= 16
- Tabelle 16: PSQ-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI).
n = 22
- Tabelle 17: ADSL-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI).
- Tabelle 18: GAD-7-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI).
n = 22
- Tabelle 19: Brief-COPE-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs.
BCI).

Kurzzusammenfassung

Ziel: Das Ziel dieser prospektiven Studie war es, den Einfluss der bilateralen Cochlea-Implantat (CI)-Versorgung auf Sprachverstehen, Lebensqualität, Tinnitusbelastung sowie psychische Komorbiditäten von bilateral ertaubten Patienten zu untersuchen. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Evaluation des zusätzlichen Nutzens eines zweiten CIs.

Methodik: 22 postlingual ertaubte Erwachsene wurden zwischen 2009 und 2016 sequentiell bilateral mit einem Multichannel-CI versorgt. Die Datenerhebung erfolgte präoperativ, ein halbes Jahr nach der ersten Implantation sowie nach der kontralateralen Versorgung mit Hilfe sprachaudiometrischer Verfahren (Freiburger Einsilbertest (FE) und Oldenburger Satztest (OLSA)) und dem Einsatz validierter Fragebögen (Oldenburger-Inventar (OI), Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ), Medical Outcomes Study Short Form-36 (SF-36), Tinnitus-Fragebogen nach Goebel und Hiller (TF), Perceived Stress Questionnaire (PSQ), Brief-COPE, Allgemeine Depressionsskala (ADS-L) und General Anxiety Disorder-7 (GAD-7)).

Ergebnisse: Das Sprachverstehen in Ruhe und im Störgeräusch verbesserte sich sowohl nach der ersten als auch der zweiten Implantation signifikant. Die Messung der binauralen Effekte ergab signifikante Verbesserungen durch den Kopfschatteneffekt von 11,2 dB und durch den Summationseffekt von 1,4 dB. Ein Squelch-Effekt ließ sich mit einer Abnahme von -0,7 dB nach bilateraler CI-Versorgung hingegen nicht nachweisen. Die mit dem NCIQ erfasste krankheitsspezifische Lebensqualität nahm nach beiden Operationen jeweils signifikant zu. Nach der zweiten Implantation verbesserten sich sowohl die hörspezifischen Aspekte (NCIQ 1 = elementare Schallwahrnehmung; NCIQ 2 = erweiterte Schallwahrnehmung) als auch die psychische (NCIQ 4 = Selbstwertgefühl) und soziale Funktionsfähigkeit (NCIQ 5 = Aktivität; NCIQ 6 = soziale Interaktion) signifikant im Vergleich zur ersten Implantation. Die Tinnitusbelastung im TF nahm nach der ersten Operation signifikant ab und blieb nach der zweiten Operation konstant. Trotz der im PSQ unauffälligen Stressbelastung kam es nach bilateraler Implantation zu einem signifikant reduzierten Anwenden der Bewältigungsstrategien „Support Coping“ und „Focus on positive“ im Brief-COPE. Die Gesamtwerte zur Beurteilung depressiver Symptome und generalisierter Angststörungen lagen sowohl vor als auch nach den Implantationen im Referenzbereich der Normalbevölkerung und zeigten keine signifikanten Veränderungen.

Schlussfolgerung: Der zusätzliche Nutzen eines zweiten CIs umfasst neben der Verbesserung des Sprachverstehens vor allem auch eine gesteigerte psychische und soziale Funktionsfähigkeit. Die vorliegende Studie zeigt, dass die bilaterale CI-Versorgung eine effektive Möglichkeit der Hörrehabilitation für bilateral ertaubte Patienten darstellt und sie in vielen Bereichen von einem zweiten CI profitieren.

Abstract

Objective: The objective of this prospective study was to investigate the influence of bilateral cochlear implantation on speech perception, quality of life, tinnitus burden and psychological comorbidities in bilaterally deaf patients. This study focused on the assessment of the additional benefit of a second CI.

Methods: 22 postlingually deafened adults were sequentially bilaterally provided with a multichannel-CI between 2009 and 2016. Data were collected before, 6 months after the first implantation and after the contralateral implantation by performing speech audiometric tests (Freiburg Monosyllabic Test and Oldenburg Sentence Test) and using validated questionnaires (Oldenburg Inventory (OI), Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ), Medical Outcomes Study Short Form-36 (SF-36), Tinnitus Questionnaire by Goebel and Hiller, Perceived Stress Questionnaire (PSQ), COPE Inventory, Depression Scale and General Anxiety Disorder-7 (GAD-7)).

Results: Speech perception in quiet and in noise improved significantly both after the first and the second implantation. The measurement of binaural effects showed significant improvements by the head shadow effect of 11,2 dB as well as by the summation effect of 1,4 dB. A squelch effect couldn't be demonstrated with a decrease of -0,7 dB after bilateral CI. The disease-specific quality of life, which was assessed with the NCIQ, significantly increased after each of the two operations. After the second implantation not only the hearing specific aspects (NCIQ 1 = Elementary sound perception; NCIQ 2 = Advanced sound perception), but in particular the psychological (NCIQ 4 = Self-esteem) and social functioning (NCIQ 5 = Activity; NCIQ 6 = Social interaction) significantly increased compared to the first implantation. A significant reduction of tinnitus burden in the TQ was observed after the first surgery and remained constant after the second one. Despite the fact, that there was no enhanced level of perceived stress in the PSQ after the second implantation, the coping strategies "Support Coping" and "Focus on positive" were used significantly less according to the Brief-COPE. The total scores for assessing depressive symptoms and generalized anxiety disorders were both before and after the implantations within reference range of the general population and didn't show any significant changes.

Conclusion: The additional benefit of a second CI comprises apart from the improvements of speech perception especially an increase of psychological and social functionality. This study shows that bilateral cochlear implantation is an effective way of hearing rehabilitation in bilaterally deaf patients and that they benefit in many fields from a second CI.

1. Einleitung

1.1 Schwerhörigkeit

1.1.1 Definition und Einteilung

Schwerhörigkeit (Hypakusis) bezeichnet eine Verminderung des Hörvermögens. Die Ausprägung kann sehr unterschiedlich sein und von einer geringgradigen Schwerhörigkeit bis hin zur Taubheit reichen. Eine geläufige Einteilung der Schwerhörigkeitsgrade orientiert sich an der Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO) (siehe Tabelle 1).

Neben dem Schweregrad ist die topographische Unterscheidung der Hypakusis ein oft verwendetes Einteilungskriterium. Je nach betroffenem Abschnitt des Hörorgans differenziert man zwischen Schallleitungsstörungen, sensorineuraler und zentraler Schwerhörigkeit. Eine Vielzahl von Ursachen können den genannten Störungen zugrunde liegen. Dazu zählen unter anderem Fehlbildungen, Entzündungsprozesse, der Einfluss von Noxen (z.B. Medikamente, Alkohol, Rauchen), die Degeneration des Corti-Organs im Rahmen einer Presbyakusis, der Untergang von Haarsinneszellen durch akute und chronische Lärmbelastung sowie Erkrankungen des Hörorgans wie z.B. Hörsturz, Tumoren, Otosklerose u.a. (4).

Tabelle 1: Einteilung der Schwerhörigkeitsgrade nach WHO (1)

Grad der Schwerhörigkeit	Mittelwert der LL-Hörschwellen bei 0,5, 1, 2 und 4 kHz
WHO 0 = keine Schwerhörigkeit	< 25 dB
WHO 1 = geringgradig	26 – 40 dB
WHO 2 = mittelgradig	41 – 60 dB
WHO 3 = hochgradig	61 – 80 dB
WHO 4 = an Taubheit grenzend/ Taubheit	> 81 dB

1.1.2 Prävalenz

Die Zahlen darüber, wie viele Schwerhörige es in Deutschland gibt sind teils sehr unterschiedlich. Dies liegt einerseits daran, dass unterschiedliche Definitionen angewandt werden, ab wann eine Schwerhörigkeit vorliegt. Andererseits liegen keine empirischen Daten vor, da bisher nur Analysen an eher kleinen Patientengruppen durchgeführt wurden.

Eine in Deutschland durchgeführte repräsentative Studie von Sohn (2001) mit über 2000 Teilnehmern ab 14 Jahren ergab eine Prävalenz von 19%. Den Patienten wurden im Rahmen einer Tonschwellenaudiometrie (TSA) Töne bei bestimmten Frequenzen vorgespielt. Schwerhörig galten jene Patienten, die mindestens bei einer Frequenz eine Hörschwelle von > 40 dB hatten (5).

Das Statistische Bundesamt kommt im Bericht zur „Statistik der schwerbehinderten Menschen“ aus dem Jahr 2018 auf eine Zahl von 301 494 Personen, die aufgrund von Schwerhörigkeit bzw. Taubheit als schwerbehinderte Menschen eingestuft werden. Bei insgesamt 7,8 Millionen schwerbehinderten Menschen in Deutschland Ende 2017 macht dies ca. 4% aus (6).

Laut WHO leiden über 5% der Weltbevölkerung bzw. 466 Millionen Menschen an Hypakusis. Aufgrund des demographischen Wandels soll diese Zahl bis zum Jahre 2050 auf über 900 Millionen ansteigen. Inkludiert sind hierbei Patienten mit einem Hörverlust von über 40 dB in der TSA (= WHO 2) auf dem besser hörenden Ohr bzw. Kinder mit einem Hörverlust von über 30 dB auf dem besser hörenden Ohr (7). Vor allem im Alter kommt es zu einer starken Zunahme der Prävalenz. Unter den über 70-Jährigen leiden beinahe zwei Drittel an einem mindestens geringgradigen Hörverlust (= WHO 1) auf dem besser hörenden Ohr (8).

1.1.3 Auswirkungen

Die Hypakusis kann sich auf verschiedenste Bereiche des Lebens auswirken und diese beeinträchtigen. Erste Einschränkungen zeigen sich durch eine gestörte Kommunikation. Im Verlauf führt dies oft zum Verlust zwischenmenschlicher Beziehungen sowie zu einem reduzierten Selbstwertgefühl und kann sich bis hin zur sozialen Isolation ausweiten (9). Dadurch lässt sich einerseits das erhöhte Risiko für psychische Komorbiditäten, wie zum Beispiel Depressionen oder generalisierte Angststörungen, erklären (10). Andererseits hat man festgestellt, dass die gesundheitsbezogene Lebensqualität (HRQoL) bei Patienten mit Hypakusis reduziert ist (11).

Ein weiterer oft mit Hypakusis vergesellschafteter Faktor ist der Tinnitus. Unter Tinnitus versteht man die Wahrnehmung von Ohrgeräuschen, die in Abwesenheit eines externen Schalleinflusses entstehen. Die Prävalenz in der erwachsenen Bevölkerung wird mit 10 – 15% angegeben (12, 13), wobei gewisse Risikofaktoren identifiziert werden konnten. So haben Patienten mit auditiven Dysfunktionen oder möglichen Verletzungen des Hörorgans durch z.B. häufige Infektionen, ototoxische Medikamente und Ohroperationen ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung eines Tinnitus (14). Das Vorliegen eines Tinnitus hat wiederum Auswirkungen auf die Lebensqualität. Schlaf, Konzentration, private sowie berufliche Aktivitäten können dadurch beeinträchtigt werden und ein gehäuftes Auftreten psychischer Komorbiditäten (v.a. Depressionen und Angststörungen) wurde beobachtet (15, 16). Während ein kompensierter Tinnitus oft nur zu geringen Einschränkungen führt, geht ein dekompensierter Tinnitus meist mit einer deutlich eingeschränkten Lebensqualität und einer stärker ausgeprägten Schwerhörigkeit einher. Des Weiteren wurde beobachtet, dass die Kombination aus dekompenziertem Tinnitus und hochgradiger Hypakusis die subjektive Stressbelastung signifikant erhöhen und die Fähigkeiten zur Problembewältigung beeinflussen (17, 18).

Ein Zusammenhang, der erstmals 1989 von Uhlmann et al. (19) berichtet und vor allem in den letzten Jahren vermehrt untersucht wurde, besteht zwischen der Hypakusis und der Abnahme kognitiver Fähigkeiten. Beides sind chronische Zustände, die lange Zeit als unabhängige Risikofaktoren des Alters angesehen wurden. Mittlerweile ist jedoch erwiesen und allgemein anerkannt, dass Patienten mit Hypakusis ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung kognitiver Defizite bzw. einer Demenz haben (20-22). Mit zunehmendem Grad des Hörverlustes erhöht sich die Wahrscheinlichkeit eine Demenz zu entwickeln (20, 23). Verschiedene Hypothesen für diese Zusammenhänge wurden postuliert, die genauen Ursachen sind jedoch ungeklärt.

1.1.4 Therapie der Schwerhörigkeit

Die Therapie der Schwerhörigkeit richtet sich nach der zugrunde liegenden Ursache und ist von großer Bedeutung, um die oben aufgeführten negativen Auswirkungen zu verringern. Akut auftretende Schallleitungsstörungen können durch eine rechtzeitige medikamentöse bzw. operative Therapie oft gut behandelt werden (24). Dazu zählen unter anderem die akute Otitis media, Cerumen obturans oder die akute Otitis externa. Bei chronischen Erkrankungen wie der Otosklerose oder dem Cholesteatom ist trotz erfolgter Therapie meist mit einer bleibenden Schallleitungsschwerhörigkeit zu rechnen.

Schallempfindungsstörungen, zu denen auch die Presbyakusis zählt, verlaufen häufiger chronisch, da der ursächlich vorliegende Untergang der Haarsinneszellen irreversibel ist. Regenerative Therapiestrategien zur Wiederherstellung der Haarzellfunktion werden zurzeit intensiv erforscht, befinden sich jedoch in ihren Anfängen und müssen sich zunächst in klinischen Studien als erfolgreich erweisen (25). Die aktuelle Therapie der Wahl besteht in einer apparativen Versorgung mit Hörgeräten bzw. Hörimplantaten. Ergänzend zur apparativen Versorgung kommt eine gezielte Audiotherapie zum Einsatz, um den Patienten beim Hören mit dem neuen und ungewohnten Gerät bzw. Implantat zu unterstützen und das Gehör des Patienten zu trainieren (26). Liegt eine ausgeprägte Schädigung der Sinneszellen im Innenohr vor, lässt sich mit konventionellen Hörgeräten keine zufriedenstellende Verbesserung der Hörfähigkeit erreichen. In diesen Fällen sollte geprüft werden, ob der Patient die Voraussetzungen für ein Hörimplantat erfüllt. Es stehen neben dem Cochlea-Implantat (CI) auch Mittelohr- und Knochenleitungsimplantate zur Verfügung (27).

1.2 Das Cochlea-Implantat (CI)

1.2.1 Definition und Funktionsweise

Das CI ist eine elektrische Hörprothese, die die Funktion der inneren Haarzellen übernimmt und als Behandlung der Wahl zur Hörrehabilitation bei Patienten mit einer hochgradigen Innenohrschwerhörigkeit eingesetzt wird (28). Als einzige Prothese kann sie ein ausgefallenes Sinnesorgan vollständig ersetzen.

Ein CI-System setzt sich aus zwei Bauteilen zusammen: Neben dem eigentlichen Implantat trägt der Patient einen extern, meist hinter dem Ohr angebrachten Audioprozessor. Der Audioprozessor besteht wiederum aus verschiedenen Komponenten. Dazu gehören ein Mikrofon, ein Signalprozessor, ein Batteriefach bzw. Akku sowie eine Sendespule mit Magnet. Zu den einzelnen Bestandteilen des Implantats zählen die Empfangsspule mit Magnet, die Referenzelektrode und der Elektrodenträger (29, 30).

Das Mikrofon nimmt die akustischen Signale der Umgebung auf, welche anhand ihrer physikalischen Eigenschaften vom Signalprozessor kodiert und in ein digitales Signal

umgewandelt werden. Die Datenübertragung zum Implantat erfolgt transkutan von der Sendespule zur Empfangsspule, die mittels der empfangenen Informationen ein elektrisches Signal erzeugt. Der Elektroenträger stimuliert das Ganglion spirale direkt elektrisch und übergeht die defekten Haarzellen. Durch die tonotope Architektur der Cochlea kann ein weitestgehend natürliches Hören erzeugt werden. Über die Hörbahn gelangen die akustischen Informationen zum auditorischen Kortex und werden dort zu Hörempfindungen verarbeitet (29, 30).

1.2.2 Voraussetzungen und präoperative Diagnostik

Ein funktionsfähiger Hörnerv und intakte zentrale Hörbahnen sind Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Nutzung des Implantats. Außerdem sollte eine anatomisch korrekt angelegte Cochlea vorliegen, um den Elektroenträger einführen zu können. Weitere Voraussetzung ist die Fähigkeit des Patienten zur postoperativen Rehabilitation. Eingeschränkt ist diese u.a. bei kognitiven Defiziten, zum Beispiel im Rahmen einer Demenzerkrankung (31).

Um festzustellen, ob ein Patient die oben genannten Punkte erfüllt und für eine CI-Versorgung in Frage kommt, werden eine Reihe von standardisierten Untersuchungen durchgeführt. Neben einer Anamnese mit HNO-Status, subjektiven (u.a. einer Ton- und Sprachaudiometrie) und objektiven Hörprüfungen (u.a. einer Hirnstammaudiometrie, auch BERA genannt) ist vor allem eine hochauflösende Bildgebung von Bedeutung (32).

Um die Strukturen des Innenohrs inklusive der Hörschnecke, des Hörnervs, des Felsenbeins und des Kleinhirnbrückenwinkels anatomisch beurteilen zu können, ist eine neuroradiologische Bildgebung mittels Magnetresonanztomografie (MRT) und/oder Computertomografie (CT) notwendig. Daraus können sich einerseits Kontraindikationen für eine CI-Versorgung ergeben, andererseits wichtige Informationen für den Operateur (33).

1.2.3 Indikation

Aus der Leitlinie „Cochlea-Implantat Versorgung einschließlich zentral-auditorischer Implantate“ der Deutschen Gesellschaft für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie e.V., Bonn (DGHNOKHC) aus dem Jahr 2012 geht hervor: „Für Cochlea-Implantat- Versorgungen kommen Patienten in Frage, bei denen mit Cochlea-Implantaten ein besseres Hören und Sprachverstehen als mit Hörgeräten absehbar zu erreichen sein wird.“ Neben dieser allgemeinen

Formulierung wird auch explizit auf die bilaterale Implantation verwiesen: „Bei beidseitig gegebener Indikation ist eine beidseitige Implantation durchzuführen (Laszig et al., 2004)“ (32, 34).

Bei postlingual ertaubten Patienten findet sich ein akustisches Gedächtnis mit bereits ausgebildeten Hörbahnen, was die Aussichten für eine erfolgreiche Rehabilitation deutlich erhöht. Weitere prognostisch bedeutsame Faktoren sind Dauer und Verlauf der Schwerhörigkeit, das Vorhandensein und Nutzen der Resthörfähigkeit sowie Einschränkungen der kognitiven Fähigkeiten. All diese Aspekte finden Berücksichtigung bei der Indikationsstellung (31). Zusätzlich erfolgt die Erhebung audiometrischer Daten.

1.2.4 Einteilung der CI-Kandidaten

Patienten, die sich einer CI-Prädiagnostik unterziehen, können grundsätzlich in drei Gruppen unterteilt werden. Bei den unilateral ertaubten Patienten unterscheidet man zwischen „Single-Sided Deafness“ (SSD) und „Asymmetric Hearing Loss“ (AHL), bei den bilateral Ertaubten spricht man von „Double-Sided Deafness“ (DSD). Definiert werden diese Gruppen anhand der TSA-Ergebnisse auf dem besser hörenden Ohr (siehe Tabelle 2) (2, 3). Auf dem kontralateralen Ohr liegt bei allen drei Gruppen ein signifikanter sensorineuraler Hörverlust (HL) vor.

Tabelle 2: Gruppeneinteilung der CI-Kandidaten (2, 3)

	SSD	AHL	DSD
Besser hörendes Ohr	HL \leq 30 dB bis 4000 Hz	HL \leq 60 dB und \geq 30 dB bei mindestens einer Frequenz bis 4000 Hz	HL \geq 60 dB bis 4000 Hz
Schlechter hörendes Ohr	Signifikanter sensorineuraler HL	Signifikanter sensorineuraler HL	Signifikanter sensorineuraler HL

1.3 Binaurales Hören

Das binaurale Hören, also das Hören mit beiden Ohren, ist der normale Hörvorgang, der für das Richtungshören genutzt wird und bei der Trennung von Sprache und Störgeräusch hilft. Patienten mit unilateraler oder bilateraler Ertaubung weisen vor allen in diesen Aspekten signifikante Defizite auf. Für DSD-Patienten ist eine bilaterale CI-Versorgung also essentiell, um die Vorteile des binauralen Hörens möglichst gut nutzen zu können (35). Diese Vorteile basieren in erster Linie auf drei Mechanismen: dem Kopfschatteneffekt, dem Squelch-Effekt (engl. (to) squelch, deutsch: unterdrücken) und dem Summationseffekt (36).

Der Kopfschatteneffekt ist ein physikalisches Phänomen und lässt sich dann beobachten, wenn Sprache und konkurrierendes Störgeräusch räumlich voneinander getrennt sind. Durch die räumliche Trennung der Signale resultiert in jedem Ohr ein unterschiedliches Signal-Rausch-Verhältnis (SRV), da der Kopf als anatomisches Hindernis fungiert und die Schallwellen zuerst und mit größerer Intensität auf das dem Signal zugewandte Ohr treffen. Das gegenüberliegende Ohr befindet sich dann sozusagen im „Kopfschatten“. Dem Patienten ist es möglich, die Informationen des Ohres mit dem besseren SRV vermehrt zu nutzen und so die Sprachverständlichkeit zu verbessern (36, 37).

Der Squelch-Effekt stellt einen Verarbeitungsprozess des Gehirns dar und tritt ebenfalls bei räumlicher Trennung von Sprache und Störgeräusch auf. Hierbei werden die Informationen beider Ohren zentral kombiniert, verarbeitet und analysiert. Auf diese Weise erfolgt eine Trennung von Nutz- und Störschall, was letztendlich eine zentrale Unterdrückung des Störschalls ermöglicht und so die Sprachverständlichkeit erhöht (36, 37).

Beim Summationseffekt handelt es sich um einen Verarbeitungsprozess des Gehirns, welcher vorkommt, wenn Sprache und Störgeräusch vom selben Ort aus entstehen. In diesem Fall empfangen beide Ohren ähnliche Signale, die dann im auditorischen Kortex verarbeitet werden. Dieser erkennt die Redundanz der Signale und ist in der Lage sie durch Lautheitssummation zu verstärken, wodurch das Sprachverstehen ebenfalls gesteigert wird (35, 36).

Für das Richtungshören wird außerdem die Fähigkeit benötigt, Zeit- und Lautheitsunterschiede zwischen beiden Ohren (Interaural time differences (ITDs) und Interaural level differences (ILDs)) wahrzunehmen. Die Lokalisation hochfrequenter Geräusche erfolgt primär über die Nutzung der ILD, niederfrequente Geräusche werden vor allem über die ITD lokalisiert (36). Bei Normalhörigkeit trägt ein Zusammenspiel dieser beiden Faktoren zum Richtungshören bei.

1.4 Aktueller Forschungsstand

Ursprünglich waren CIs nur Patienten mit hochgradiger beidseitiger sensorineuraler Schwerhörigkeit zugänglich. Die Implantation erfolgte in diesen Fällen üblicherweise unilateral, da dadurch bereits eine deutliche Verbesserung der Sprachverständlichkeit und gesundheitsbezogenen Lebensqualität beschrieben und gemessen werden konnte (38-41). Weitere Gründe für eine unilaterale Implantation stellen eine in vielen Ländern fehlende Kostenübernahme der zweiten Seite durch die Krankenkassen sowie eine potentielle Verdopplung der Komplikationsrate durch die zweite Implantation dar. Trotz der positiven Ergebnisse berichteten die Patienten weiterhin über persistierende Schwierigkeiten bei der Lokalisation von Geräuschen sowie beim Sprachverstehen in Anwesenheit von Störgeräuschen (42). Infolge dessen kam es vermehrt zur Forderung einer beidseitigen CI-Versorgung, da man sich wie bei der Hörgeräteversorgung erhoffte, die Vorteile des binauralen Hörens nutzen zu können. Mittlerweile wurde in mehreren Studien nachgewiesen, dass bilateral versorgte CI-Patienten von den 3 Effekten des binauralen Hörens profitieren können (42-45). Die beidseitige Implantation bei Kindern entspricht heutzutage dem klinischen Standard und soll laut aktuellen Leitlinien generell bei Patienten mit gegebener beidseitiger Indikation durchgeführt werden (32, 46).

Die Evaluation der durch eine CI-Versorgung veränderten Lebenssituation erfordert die Berücksichtigung mehrerer Aspekte des täglichen Lebens. Neben der Erfassung von sprachaudiometrischen Ergebnissen spielt vor allem auch die Untersuchung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (HRQoL) eine wichtige Rolle. Außerdem von großem Forschungsinteresse sind der Einfluss des CIs auf das Auftreten von Tinnitus und psychischen Komorbiditäten. Als geeignetes Messinstrument hat sich dafür die Verwendung validierter Fragebögen zu den einzelnen Aspekten etabliert. Im Folgenden wird anhand von Studien der aktuelle Forschungsstand für die bilaterale CI-Versorgung dargelegt.

1.4.1 Sprachverstehen und Richtungshören

Im Review von Gaylor et al. (2013) wurden alle zwischen Januar 2004 und Mai 2012 veröffentlichten Studien erfasst, welche sprachaudiometrische Parameter und/oder die Lebensqualität nach einseitiger oder beidseitiger CI-Versorgung bei Erwachsenen mit bilateraler sensorineuraler Schwerhörigkeit untersuchen (47). Von den insgesamt 42 identifizierten Studien beurteilten 16 Studien das Sprachverstehen nach unilateraler Implantation. Die dabei als qualitativ höherwertig eingestuften Studien mit einem mittleren Biasrisiko zeigten alle einen signifikanten Anstieg der sprachaudiometrischen Parameter im Vergleich zur präoperativen Situation (38-40, 48-52)

Bei den Studien, die das Sprachverstehen nach bilateraler Implantation bewerteten, ließ sich eine zusätzliche Verbesserung durch das zweite CI erreichen. Mehrere Reviews haben gezeigt, dass beidseitig versorgte CI-Patienten vor allem beim Sprachverstehen im Störgeräusch und beim Richtungshören besser abschneiden als einseitig versorgte CI-Patienten (42, 47, 53). Schleich et al. (2004) untersuchten das Sprachverstehen im Störgeräusch bei einer Gruppe von 21 bilateralen CI-Trägern mithilfe des Oldenburger-Satztests. Je nach Positionierung von Sprache und Störgeräusch sollten die drei Effekte des binauralen Hörens simuliert werden. Im Vergleich zur unilateralen Situation konnte eine Verbesserung von 6,8 dB durch den Kopfschatteneffekt, von 0,9 dB durch den Squelch-Effekt und von 2,1 dB für den Summationseffekt nachgewiesen werden (45). Bei derselben Patientengruppe untersuchten Nopp et al. (2004) das Richtungshören, indem sie den Winkel, der zur räumlichen Unterscheidung zwischen zwei Schallquellen nötig ist, maßen. Mit bilateraler CI-Nutzung gelang den Patienten eine Differenzierung der Schallquellen bei einem Winkel von durchschnittlich $16,6^\circ$, wohingegen mit unilateraler CI-Nutzung dies erst bei einem Winkel von $53,7^\circ$ der Fall war (54).

Für die bisher in der Literatur beschriebenen Studien, die über den zusätzlichen Nutzen der bilateralen CI-Versorgung berichteten, sollte angemerkt werden, dass es sich zum Großteil um Beobachtungsstudien handelt. Mehrere Autoren haben dies bereits kritisiert und fordern die Durchführung qualitativ hochwertigerer Studien, um ein höheres Evidenzniveau zu erreichen (42, 47, 53).

Smulders et al. (2016) nahmen diese Kritik zum Anlass zur Durchführung einer randomisiert kontrollierten Studie (RCT) (55). Ziel der Studie war es, die Vorteile der bilateralen CI-Versorgung (BCI) gegenüber der unilateralen CI-Versorgung (UCI) bei postlingual ertaubten Erwachsenen zu bestimmen. Als Einschlusskriterien galten postlinguale Schwerhörigkeit, Alter

zwischen 18 und 70 Jahren, Dauer des Hörverlustes unter 20 Jahren und ein geringer Nutzen durch Hörhilfen. Alle Patienten, die die Einschlusskriterien erfüllten, wurden in 2 Gruppen randomisiert. Patienten aus der BCI-Gruppe sollten während ihrer Operation zwei CIs erhalten, Patienten aus der UCI-Gruppe erhielten ein CI. Im Follow-Up wurden folgende Versuchsanordnungen durchgeführt:

- 1) Adaptiver Satztest: Sprache und Störgeräusch von frontal
- 2) Konsonant-Vokal-Konsonant-Wörter in Ruhe
- 3) Adaptiver Satztest: Sprache und Störgeräusch aus unterschiedlichen Richtungen
- 4) Lokalisierung von Geräuschen

Bei den Versuchsanordnungen 1) und 2) zeigten sich im 1-Jahres-Follow-Up keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Jedoch erzielte die BCI-Gruppe sowohl beim Sprachverstehen im Störgeräusch aus Versuchsanordnung 3) (mediane Hörschwelle im Störgeräusch in der UCI-Gruppe bei 14,4 dB; BCI-Gruppe bei 5,6 dB) als auch bei der Lokalisierung von Geräuschen (korrekt angegebene Geräuschlokalisation bei einem Winkel von 60° zwischen den Schallquellen in der UCI-Gruppe bei 50%; BCI-Gruppe bei 96,7%) signifikant bessere Testergebnisse als die UCI-Gruppe, was für einen zusätzlichen Nutzen in alltäglichen Hörsituationen spricht (55). Diese Ergebnisse erwiesen sich im 2-Jahres Follow-Up von van Zon et al. (2017) als konstant (56).

Trotz dieser nachgewiesenen Vorteile sollten gewisse Limitationen für bilaterale CI-Nutzer beachtet werden. So nutzen Patienten mit bilateraler CI-Versorgung für das Richtungshören in erster Linie die ILD, während die Wahrnehmung der ITD bei ihnen deutlich schlechter ist als bei Normalhörigen (57, 58). Strategien zur Verbesserung der ITD werden derzeit erforscht, um das physiologische binaurale Hören funktionell möglichst getreu zu simulieren (59, 60). Außerdem wird die Verbesserung des Sprachverstehens im Störgeräusch vor allem dem Kopfschatteneffekt zugesprochen, während die Zugewinne durch Summationseffekt und Squelch-Effekt sehr variabel sind und meist geringer ausfallen (45, 61, 62).

1.4.2 Gesundheitsbezogene Lebensqualität (HRQoL)

Sprachaudiometrische Messungen galten lange Zeit als Mittel der Wahl zur Beurteilung des Erfolges einer CI-Operation. Da die Zahl der operierten Patienten stetig zunahm und das Forschungsinteresse stieg, entwickelte sich die Notwendigkeit zusätzliche Parameter zu erfassen, die den Erfolg einer Implantation beeinflussen. Dabei spielt die gesundheitsbezogene Lebensqualität eine zentrale Rolle. Diese lässt sich einerseits mit allgemeinen Instrumenten wie zum Beispiel dem Medical Outcomes Study 36-item Short Form Health Survey (SF-36) messen, andererseits werden auch vermehrt krankheitsspezifische Instrumente wie der Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ) verwendet (63). Die positiven Auswirkungen der unilateralen CI-Versorgung auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität sind vielfach dokumentiert (64-66). Im Folgenden ist daher von besonderem Interesse, welchen Einfluss ein zweites CI auf die HRQoL ausübt.

Summerfield et al. (2006) untersuchten 24 unilateral operierte Patienten, die in zwei Gruppen randomisiert wurden. Die eine Gruppe erhielt umgehend ein zweites CI, während die andere Gruppe das kontralaterale CI erst nach zwölf Monaten erhielt. Obwohl sich Sprachverstehen und Richtungshören nach der Intervention deutlich verbesserten, kam es unter Verwendung eines generischen Fragebogens, dem EuroQol-5D, zu einer signifikanten Reduktion der HRQoL von - 4,5 Punkten nach kontralateraler CI- Versorgung (n=24) (67, 68). Analysen zeigten, dass positive Auswirkungen auf die HRQoL durch das bessere Hörvermögen beobachtet werden konnten, aber von den negativen Auswirkungen der ansteigenden Tinnitusbeschwerden aufgehoben wurden (68).

Unsere Arbeitsgruppe um Olze et al. (2012) erfasste bei 40 sequentiell bilateral operierten Patienten die HRQoL mithilfe des NCIQs. Die Gewinnung der präoperativen Daten erfolgte retrospektiv nach der ersten Operation und ergab einen durchschnittlichen Gesamtwert im NCIQ von $39,3 \pm 12,3$. Im Rahmen der postoperativen Befragung zur unilateralen CI-Nutzung kam es zu einem deutlichen Anstieg des NCIQ-Punktwertes auf $65,4 \pm 12,7$, wobei alle 6 Subdomänen eine hochsignifikante Zunahme verzeichneten. Nach der zweiten Implantation verbesserte sich der Wert durchschnittlich um weitere 5,9 Punkte auf $71,3 \pm 12,7$, was ebenfalls eine signifikante Zunahme der gesundheitsbezogenen Lebensqualität im Vergleich zur ersten Operation darstellte (69).

Die Studie von Rader et al. (2018) mit dem Titel „Lebensqualität und Schwindel bei bilateraler Cochlea-implantation“ nutzte den NCIQ zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität

bei 32 Patienten (70). Es erfolgte lediglich ein Vergleich zwischen unilateraler und bilateraler CI-Versorgung ohne Berücksichtigung der präoperativen Situation. Auch hier konnte nach der kontralateralen Implantation ein signifikanter Zugewinn der HRQoL verzeichnet werden. In absoluten Zahlen stieg der Wert von durchschnittlich 62,9 auf 77,8 Punkte an, was insgesamt einem Anstieg von 14,9 Punkten (bzw. 23,7%) entspricht. Bei jeder der 6 Subdomänen ließ sich eine Verbesserung beobachten, am stärksten in der Kategorie „Sprach- und Lautbildung“ (32,8%) (70).

Die Zusammenschau der Studien legt nahe, dass die durch das erste CI bereits deutlich verbesserte HRQoL im Rahmen der bilateralen Versorgung weiter gesteigert werden kann. Jedoch sollte nicht unerwähnt bleiben, dass vor allem eine Zunahme der Tinnitusbeschwerden negative Auswirkungen auf die HRQoL hat.

1.4.3 Tinnitus

Die Prävalenz von Tinnitus bei Patienten mit hochgradiger Schwerhörigkeit ist deutlich höher als in der Normalbevölkerung und wird für CI-Kandidaten je nach Studie zwischen 67 und 100% angegeben (71). Obwohl die Behandlung eines Hörverlustes im Vordergrund der CI-Therapie steht, ist mittlerweile auch der Einfluss auf den Tinnitus vielfach beschrieben.

Das Review von Ramakers et al. (2015) untersuchte die Auswirkungen einer CI-Versorgung auf den Tinnitus bei bilateral ertaubten Patienten (72). Zehn Studien erfüllten die Einschlusskriterien, wobei in allen Studien eine unilaterale Implantation erfolgte. Zur Erfassung der Tinnitusbeschwerden wurden validierte Fragebögen wie das Tinnitus Handicap Inventory (THI) oder der Tinnitus Questionnaire (TQ) eingesetzt. Bei 25-72% der Patienten kam es postoperativ zu einer Abnahme des Tinnituswertes, bei 8-45% zu einer kompletten Unterdrückung des Tinnitus und bei 0-36% der Patienten zeigte sich der Wert konstant. Andererseits berichteten auch einige Patienten über eine Zunahme der Beschwerden (0-25%) bzw. das Neuaufreten von Tinnitus nach der Implantation (0-10%). Insgesamt wiesen alle zehn inkludierten Studien eine durchschnittliche Abnahme der Tinnitusbelastung nach unilateraler CI-Operation auf. Die Möglichkeit einer Tinnitusinduktion durch die Operation sollte jedoch beachtet werden.

Im Gegensatz zur unilateralen CI-Versorgung gibt es nur wenige Studien, die über die Auswirkungen einer bilateralen Versorgung auf den Tinnitus berichten (68, 69, 73, 74). Die oben bereits aufgeführte Studie von Summerfield et al. (2006) hat neben der Lebensqualität auch das

Auftreten von Tinnitus untersucht. Entgegen der Hypothese, dass sich ein zweites CI positiv auf den Tinnitus auswirkt, kam es insgesamt zu einer Verschlechterung der Tinnitusbeschwerden. Bei 16 von 24 Patienten bestand vor der zweiten Operation ein Tinnitus (67%). Nach der zweiten Operation verschlechterte sich dieser bei sieben Patienten und vier Patienten berichteten über einen neu aufgetretenen Tinnitus (68). Die Aussagekraft der Studie ist jedoch aufgrund der relativ geringen Patientenzahl ($n = 24$) und der Verwendung nichtvalidierter Fragebögen eingeschränkt.

Die Studie unserer Arbeitsgruppe um Olze et al. (2012) erhob neben dem bereits geschilderten Einfluss auf die Lebensqualität Daten zum Tinnitusverlauf (69). Dazu wurde der Tinnitus-Fragebogen (TF) als validiertes Messinstrument eingesetzt. Von den 40 Patienten gaben 28 an, präoperativ unter einem Tinnitus gelitten zu haben (70%). Die betroffenen Patienten wurden anschließend anhand ihres TF-Gesamtwertes in zwei Gruppen eingeteilt: die erste Gruppe umfasst alle Patienten mit einem dekompenzierten Tinnitus ($TF >46$), die zweite Gruppe Patienten mit einem kompensierten Tinnitus ($TF \leq 46$). Nach der ersten Operation kam es in der Gruppe mit dekompenziertem Tinnitus zu einer signifikanten Abnahme des TF-Wertes, der sich nach der zweiten Operation stabil zeigte. Bei den Patienten mit kompensiertem Tinnitus kam es hingegen sowohl nach der ersten als auch nach der zweiten CI-Operation jeweils zu einer Reduktion der Tinnitusbeschwerden.

Ramakers et al. (2017) untersuchten das Auftreten von Tinnitus ein Jahr nach bilateraler CI-Versorgung. Von den 38 postlingual ertaubten Erwachsenen erhielten 19 Patienten die beiden CIs simultan und 19 ihre CIs sequentiell in einem Intervall von zwei Jahren. Als Messinstrumente wurden der THI und der TF präoperativ sowie ein Jahr nach jeder Operation eingesetzt. Präoperativ klagten 42% der CI-Kandidaten (16 von 38) über Tinnitus, was niedriger als die bisher in der Literatur beschriebenen Zahlen ist (71, 75). Insgesamt kam es nach bilateraler Versorgung zu einer durchschnittlichen Abnahme des THI-Gesamtwertes von -8 und des TF-Wertes von -9. Bei vier Patienten verschwand der Tinnitus komplett und bei weiteren sechs Patienten wurde eine Reduktion in beiden Fragebögen beobachtet. Dagegen entwickelten fünf Patienten, alle aus der simultan operierten Gruppe, einen postoperativ neu aufgetretenen Tinnitus. Zwischen simultan und sequentiell versorgter Gruppe konnten ansonsten bezüglich des Outcomes keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (74).

1.4.4 Psychische Komorbiditäten

Psychische Komorbiditäten, wie zum Beispiel Angststörungen, affektive Störungen oder psychosomatische Erkrankungen, treten bei Patienten mit Hörverlust häufiger auf als in der Normalbevölkerung. Ein vorliegender Tinnitus kann Stress induzieren und das Risiko für psychische Komorbiditäten zusätzlich erhöhen. Da ein CI sowohl den Hörverlust als auch den Tinnitus zu verbessern mag, liegt die Vermutung auf der Hand, dass die Implantation ebenfalls einen positiven Einfluss auf eventuell bestehende psychische Komorbiditäten hat. In der Literatur finden sich bisher jedoch nur vereinzelt Untersuchungen dazu (76-78).

In der Studie von Olze et al. (2011) wurden 43 Patienten unilateral mit einem CI versorgt, wobei gezeigt werden konnte, dass ein gemeinsames Auftreten von Tinnitus und psychischen Belastungen zu einer deutlich schlechteren Lebensqualität geführt hat. Nach der Implantation kam es nicht nur zu einer Verbesserung von Lebensqualität und Sprachverstehen, sondern auch zu einer Reduktion der psychischen Belastung sowie zu verbesserten Coping-Strategien (76).

Die Arbeitsgruppe um Brüggemann et al. (2017) untersuchte den Einfluss psychischer Belastungen auf die Hörrehabilitation nach CI-Versorgung bei 47 Patienten unter anderem mithilfe validierter Fragebögen. 81% der Patienten wiesen vor oder nach der Operation psychische Komorbiditäten auf. Das Vorhandensein der psychischen Störungen selbst wurde durch das CI nicht beeinflusst, aber die psychische Belastung reduzierte sich deutlich. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich die Symptome von Depression, Angststörung und Tinnitus sowie die Coping-Strategien nach der Implantation verbesserten (78).

2. Fragestellung

In den letzten Jahren haben sich die Indikationsbereiche für ein CI zunehmend erweitert. Zu Beginn wurden auch beidseitig postlingual Ertaubte nur einseitig implantiert. In den letzten Jahren mehrte sich die Evidenz, dass eine bilaterale Versorgung bei DSD-Patienten einer einseitigen CI-Versorgung überlegen ist. Aufgrund eines Mangels an qualitativ hochwertigen Studien besteht jedoch weiterhin die Notwendigkeit den zusätzlichen Nutzen eines zweiten CIs gegenüber der unilateralen Versorgung genauer zu eruieren.

Die dieser Arbeit übergeordnete Frage beschäftigt sich daher damit, inwiefern die bilaterale CI-Versorgung zusätzliche Verbesserungen, die über den bereits bekannten Nutzen der unilateralen CI-Versorgung hinausgehen, mit sich bringt. Zur Beantwortung dieser Frage wurde das Augenmerk in der hier vorliegenden prospektiven Studie auf die Evaluation der im aktuellen Forschungsstand dargestellten Aspekte (Sprachverstehen, Lebensqualität, Tinnitus und psychische Komorbiditäten) zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten gelegt.

Die genannten Aspekte wurden einzeln beleuchtet und anhand folgender Fragestellungen untersucht:

- 1) Welche Auswirkungen hat die unilaterale und bilaterale Implantatversorgung auf das Sprachverstehen in Ruhe und im Störgeräusch sowie auf das Richtungshören?
- 2) Können die drei Effekte des binauralen Hörens (Summations-, Kopfschatten- und Squelch-Effekt) von bilateralen CI-Trägern genutzt werden? Wenn ja, in welchem Umfang?
- 3) Wie verändern sich allgemeine und krankheitsspezifische Lebensqualität nach der ersten und nach der zweiten Implantation?
- 4) Wie groß ist der Nutzen einer CI-Versorgung auf eine oft zusätzlich bestehende Tinnitusbelastung? Kann durch das zweite CI eine zusätzliche Reduktion der Tinnitusbelastung erreicht werden?
- 5) Hat die unilaterale bzw. bilaterale Implantation einen Einfluss auf möglicherweise vorliegende psychische Komorbiditäten?

3. Methoden

3.1 Patienten

In der vorliegenden prospektiven Studie wurden die Daten von 22 DSD-Patienten, welche im Zeitraum von 2009 bis 2016 an der Klinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde am CVK bilateral mit einem CI versorgt wurden, erfasst und untersucht. Alle eingeschlossenen Patienten waren postlingual ertaubt, bei Studieneintritt älter als 18 Jahre und willigten mit einer Einverständniserklärung schriftlich zur Teilnahme ein. Eine Genehmigung der Studie durch die Ethikkommission der Charité Universitätsmedizin Berlin (Nummer: EA2/030/13) liegt vor.

3.2 Studiendesign

Die Datenerhebung im Rahmen dieser Studie erfolgte mithilfe validierter Fragebögen sowie sprachaudiometrischer Untersuchungen und wurde zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt: präoperativ, nach der ersten CI-Operation sowie nach der kontralateralen CI-Versorgung.

Präoperativ, entweder vorstationär oder stationär am Tag vor der Operation, wurde der Patient in einem Gespräch über die Studie aufgeklärt und füllte das Fragebogeninventar aus. Die Ergebnisse der Sprachaudiometrie entnahmen wir aus den bereits im Rahmen der Vordiagnostik angelegten Akten.

Postoperativ, ca. ein halbes Jahr nach der ersten CI-Operation, wurden den Patienten dieselben Fragebögen per Post zugesandt. Zusätzlich kontaktierten wir je nach Ort der Anschlussheilbehandlung entweder die entsprechende Rehabilitationseinrichtung oder luden die Patienten persönlich zu einem Hörtest ein, um die Ergebnisse der Sprachaudiometrie zu erhalten.

Da die Daten der bilateral operierten Patienten in unserer Studie bisher nicht erfasst wurden, erstellten wir im Mai 2017 eine Liste mit allen bisher am CVK beidseitig operierten Studienteilnehmern (80 Patienten). Aus dieser Gruppe wählten wir wiederum alle Patienten aus, deren bisherige Daten zur unilateralen Versorgung vollständig waren (29 Patienten). Daraufhin verschickten wir an alle 29 Patienten ein Anschreiben, das die bekannten Fragebögen sowie eine Einladung zum Hörtest enthielt. Von den 29 kontaktierten Patienten waren drei nicht erreichbar

bzw. meldeten sich nicht zurück, weitere drei lehnten eine Befragung ab und eine Patientin gab an, dass sie nur eines der beiden CIs trage. Diese sieben Patienten wurden ebenfalls von der Studie ausgeschlossen. Die restlichen 22 Patienten beantworteten die Fragebögen und erschienen zum Hörtest am CVK zwischen Juni und September 2017.

3.3 Fragebögen

3.3.1 NCIQ

Der Nijmegen Cochlea Implant Questionnaire (NCIQ) ist ein krankheitsspezifischer Selbstbeurteilungsfragebogen, der die gesundheitsbezogene Lebensqualität von CI-Patienten misst. Er wurde von Hinderink et al. entwickelt, um den subjektiven Benefit einer CI-Operation bestimmen zu können (79).

Insgesamt besteht der NCIQ aus 60 Fragen, die sich in drei Hauptdomänen unterteilen lassen: physische, psychologische sowie soziale Funktionsfähigkeit. Diese Hauptdomänen lassen sich wiederum in jeweils mindestens eine Subdomäne aufgliedern, sodass man letztendlich sechs Subdomänen bestehend aus je zehn Fragen auswerten kann. Die Subdomänen „Elementare Schallwahrnehmung“, „Erweiterte Schallwahrnehmung“ und „Sprach- und Lautproduktion“ sind der Hauptdomäne physische Funktionsfähigkeit untergeordnet, „Selbstwertgefühl“ den psychischen Fähigkeiten und „Aktivität“ und „soziale Interaktionen“ der sozialen Funktionsfähigkeit. Auswertbar ist eine Subdomäne nur, wenn der Patient mindestens sieben von zehn Fragen beantwortet hat.

Bei jeder Frage kann der Patient zwischen sechs Antwortmöglichkeiten wählen: „nie“(1), „selten“(2), „manchmal“(3), „oft“(4), „immer“(5) bei den ersten 55 Fragen beziehungsweise „nein“(1), „schwer“(2), „einigermaßen“(3), „gut“(4), „sehr gut“(5) bei den letzten fünf Fragen sowie bei allen Fragen als sechste Antwortmöglichkeit „keine Antwort“. Je nach angegebener Antwort wird ein Punktwert zwischen null und 100 vergeben (1=0, 2=25, 3=50, 4=75, 5=100), wobei 100 den maximal zu erreichenden Punktwert darstellt. 27 der 60 Fragen sind so formuliert, dass die Antwortmöglichkeit „(1)“ als optimal gilt, weshalb der Punktwert hier invers gebildet wird. Anschließend addiert man alle zu den Fragen einer Subdomäne gehörigen Punktzahlen und

dividiert die Summe durch die Anzahl der pro Domäne gewerteten Antworten, um den Mittelwert zu erhalten.

Zusätzlich wurden zur postoperativen Befragung zwei weitere Fragen mit aufgenommen, welche nach der täglichen Tragedauer des Sprachprozessors sowie nach der Gesamtzufriedenheit der durch das CI veränderten Lebenssituation fragen.

3.3.2 SF-36

Der SF-36 ist ein Fragebogen, der im Rahmen der Medical Outcomes Study (MOS) entwickelt wurde und zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität dient (80). Im Gegensatz zum NCIQ handelt es sich beim SF-36 um ein generisches bzw. krankheitsunspezifisches Instrument. Durch Beantwortung der 36 Fragen lassen sich acht Gesundheitskonzepte erfassen:

Körperliche Funktionsfähigkeit (10 Fragen)

Körperliche Rollenfunktion (4 Fragen)

Körperliche Schmerzen (2 Fragen)

Allgemeiner Gesundheitszustand (5 Fragen)

Vitalität (4 Fragen)

Soziale Funktionsfähigkeit (2 Fragen)

Emotionale Rollenfunktion (3 Fragen)

Psychisches Wohlbefinden (5 Fragen)

Durch Auswertung der Fragen lässt sich für jede der acht Domänen ein Punktwert ermitteln. Außerdem wird mit einer Frage die Gesundheitsveränderung beurteilt. Dabei werden die Domänen körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Rollenfunktion, körperliche Schmerzen und allgemeiner Gesundheitszustand als körperliche Summenskala (KSS) angegeben. Die Domänen soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion, Vitalität und psychisches Wohlbefinden ergeben die psychische Summenskala (PSS) (81, 82). Aus den acht Domänen werden so zwei Summenskalen zwischen jeweils null und 100 Punkten gebildet, was die Auswertung deutlich vereinfacht. Ein hoher Punktwert entspricht dabei einer hohen gesundheitsbezogenen Lebensqualität.

3.3.3 Oldenburger-Inventar (OI)

Der Oldenburger-Inventar-Fragebogen dient zur Messung des subjektiven Hörvermögens und wurde im Jahre 1991 von Holube und Kollmeier entwickelt, da zu jener Zeit die Beurteilung des Hörvermögens oft nur auf der Tonschwellenaudiometrie fußte (83). Bei der TSA steht vor allem der Aspekt des „Ruhehörens“ im Vordergrund, während der OI mehrere Bereiche des Hörens beleuchtet.

In unserer Studie verwendeten wir einen Auszug aus dem 21 Fragen umfassenden Inventar, welcher zwölf Fragen aus den Bereichen „Hören in Ruhe“ (5 Fragen), „Hören im Störgeräusch“ (5 Fragen) und „Richtungshören“ (2 Fragen) beinhaltet. Als Antwortmöglichkeiten konnten die Patienten „immer“, „oft“, „manchmal“, „selten“ und „nie“ ankreuzen, wobei je nach Antwort zwischen einem und fünf Punkten vergeben werden (84). Kreuzte der Patient die Antwort „diese Situation kenne ich nicht“ an, so wurde diese Frage aus der Wertung genommen. Durch Berechnung des Summenscores ist es möglich das subjektive Hörvermögen des Patienten im jeweiligen Bereich zu beurteilen. Je höher der Wert, desto besser ist das subjektive Hörvermögen.

3.3.4 Tinnitus-Fragebogen nach Goebel und Hiller

Der Ursprung des Tinnitus-Fragebogens geht auf ein Forschungsprojekt von Hallam et al. zurück, welches von 1981 bis 1988 in London realisiert wurde. Ziel war die Entwicklung eines Instruments zur Diagnostik und Verlaufsbeobachtung von Tinnitus-Patienten (85). Basierend auf diesen Erkenntnissen führte ein deutsches Forscherteam um Goebel und Hiller weitere Studien durch und veröffentlichte 1994 den deutschsprachigen Tinnitus-Fragebogen (TF) (86).

Dieser enthält 52 Aussagen, die der Patient mit den Antwortmöglichkeiten „stimmt“ (2 bzw. 0 Punkte), „stimmt teilweise (1 Punkt) oder „stimmt nicht“ (0 bzw. 2 Punkte) bewerten kann. Abgefragt werden vor allem Aspekte des Tinnitus, welche sich folgenden sechs Skalen zuordnen lassen: „Emotionale Belastung (E), kognitive Belastung (C), Penetranz des Tinnitus (I), Hörprobleme (A), Schlafstörungen (SI) und somatische Beschwerden (SO)“.

Durch Addition der Punkte wird ein TF-Gesamtscore ermittelt, welcher zwischen null und 84 Punkten liegt und zur Schweregradeinteilung des Tinnitus dient (87).

Bis zu einem Schweregrad von 2 spricht man von einem kompensierten Tinnitus, ab Schweregrad 3 von einem dekompenzierten Tinnitus:

0 – 30 Punkte: Schweregrad 1 (leicht)	}	kompensierter
31 – 46 Punkte: Schweregrad 2 (mittelgradig)		Tinnitus
47 – 59 Punkte: Schweregrad 3 (schwer)	}	dekompenzierter
60 – 84 Punkte: Schweregrad 4 (sehr schwer)		Tinnitus

3.3.5 PSQ

Stress ist ein wichtiger Faktor im Rahmen der Entstehung von Krankheiten, kann aber gleichzeitig auch Folge von Krankheit sein. Über die korrekte Messung von Stress herrscht kein Konsens, weshalb es viele unterschiedliche Techniken zur Bestimmung des Stressniveaus gibt. Der PSQ (= Perceived Stress Questionnaire) wurde von Levenstein et al. im Jahre 1993 in englischer und italienischer Sprache entwickelt und stellte ein neues Werkzeug dar, um die individuelle Stressbelastung mithilfe von 30 Items zu messen und zu beurteilen (88). Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Erfassung der subjektiven Stresswahrnehmung und der emotionalen Stressreaktion gelegt.

In unserer Studie verwendeten wir eine abgewandelte deutsche Version des PSQ von Fliege et al. aus dem Jahr 2001, den PSQ-20. Dieser ist mit 20 Items, die sich in vier Kategorien aufteilen lassen, kürzer und einfacher auszuwerten als die Version von Levenstein et al. und konzentriert sich vor allem auf den seelischen Stress (89). Jeweils 5 Items lassen sich den Kategorien „Sorge“, „Anspannung“, „Freude“ und „Anforderungen“ zuordnen. Steht nicht der seelische, sondern der soziale Stress im Vordergrund empfiehlt sich die Verwendung des PSQ-30.

Zur Beantwortung stehen den Patienten die Möglichkeiten „fast nie“ (1 Punkt), „manchmal“ (2 Punkte), „häufig“ (3 Punkte) und „meistens“ (4 Punkte) in Bezug auf die letzten vier Wochen zur Verfügung. Für jede Kategorie wird ein Mittelwert gebildet, welcher zwischen 0 und 1 liegt. Zur Berechnung des Gesamt-PSQ-Scores wird die Kategorie „Freude“ invers betrachtet. Beträgt der PSQ-Score $> 0,45$, so spricht man von einer moderaten Belastung. Bei Werten $> 0,6$ ist von einer ausgeprägten Stressbelastung auszugehen (90).

3.3.6 Brief-COPE

Unter dem Begriff Coping versteht man Bewältigungsstrategien, die eingesetzt werden, um mit einem Problem und dessen Folgen, hier vor allem die der Schwerhörigkeit, umzugehen. Vereinfacht unterscheidet man zwei Arten von Coping: das „problemorientierte Coping“ zur Beseitigung der Stressursache und das „emotionsorientierte Coping“ zur Reduktion des emotionalen Stresses (91).

Der COPE-Fragebogen mit 60 Items geht auf Carver et al. aus dem Jahr 1989 zurück (91). Da man in weiteren Studien feststellte, dass sich aufgrund der Länge und Redundanz der Fragen bei vielen Patienten mangelnde Compliance zeigte, veröffentlichten Carver et al. 1997 eine gekürzte Version des COPE-Fragebogens, den Brief-COPE (92). Diese Version wurde von Knoll im Jahr 2002 in die deutsche Sprache übersetzt und besteht aus 28 Items.

Anhand der 14 Subskalen, bestehend aus je zwei Items, lassen sich vier Ebenen darstellen: „Evasive Coping“, „Support Coping“, „Focus on positive“ und „Active Coping“.

Es existieren vier Antwortmöglichkeiten: „überhaupt nicht“ (1 Punkt), „ein bisschen“ (2 Punkte), „ziemlich“ (3 Punkte) und „sehr“ (4 Punkte). Daraus lässt sich für die unterschiedlichen Ebenen ein Summenwert bilden. Für „Evasive Coping“ und „Focus on positive“, die jeweils aus drei Subskalen gebildet werden, beträgt der Maximalwert 24. „Support Coping“ und „Active Coping“ werden hingegen aus nur zwei Subskalen gebildet und haben demnach einen Maximalwert von 16.

3.3.7 ADS-L

Die allgemeine Depressionsskala (ADS) ist ein Instrument zur Beurteilung und Verlaufsbeobachtung depressiver Symptome. Grundlage bildet die 1977 veröffentlichte Center for Epidemiologic Studies - Depression Scale (CES-D) (93, 94), welche im Jahre 1993 von Hautzinger und Bailer in eine deutschsprachige Version, die ADS, übersetzt wurde (95).

Es existieren zwei Formen der ADS: eine Kurzform (ADS-K) mit 15 Items und eine Langform (ADS-L) mit 20 Items. In unserer Studie verwendeten wir die Langform (ADS-L), wobei 16 Items positiv gepolt sind und vier Items invers kalkuliert werden. Der Patient hat die Auswahl zwischen den Antwortmöglichkeiten „selten oder überhaupt nicht“ (0 Punkte), „manchmal“ (1 Punkt),

„öfters“ (2 Punkte) und „immer“ (3 Punkte) und soll die Aussagen nach seinem Wohlbefinden innerhalb der letzten Woche beantworten. Anschließend werden die Punkte aller Antworten aufsummiert, woraus sich ein Wert zwischen null und 60 Punkten ergibt. Ein hoher Wert deutet auf eine ausgeprägtere depressive Symptomatik hin.

Der Vergleich des Summenwerts mit Normwerten erlaubt eine erste Einschätzung (94):

0 – 16 Punkte: Depression unwahrscheinlich

17 - 22 Punkte: Depression möglich

23 – 60 Punkte: Depression wahrscheinlich

3.3.8 GAD-7

Im Gegensatz zu den zahlreichen Messinstrumenten, die bei einer Depression eingesetzt werden können, fällt die Liste bei einer generalisierten Angststörung deutlich kürzer aus. Eine der validesten und reliabelsten Möglichkeiten zur Diagnostik und Schweregradeinteilung von generalisierten Angststörungen stellt der 2006 von Spitzer et al. entwickelte GAD-7-Fragebogen dar (96). Die sieben Items orientieren sich an den DSM-IV-Kriterien für eine generalisierte Angststörung und fragen das Auftreten der Kernsymptome in den letzten zwei Wochen ab.

Die Punktevergabe erfolgt anhand der Antwortmöglichkeiten „überhaupt nicht“ (0 Punkte), „an einzelnen Tagen“ (1 Punkt), „an mehr als der Hälfte der Tage“ (2 Punkte) und „an jedem einzelnen Tag“ (3 Punkte). Der Maximalscore bei sieben Items beträgt 21 Punkte, wobei sich die Schweregradeinteilung der Angstsymptomatik am Gesamtscore orientiert (96):

0 – 4 Punkte: normal/ minimal

5 – 9 Punkte: mild

10 – 14 Punkte: moderat

15 – 21 Punkte: schwer

Den Abschluss des Fragebogens bildet eine Zusatzfrage zur Belastung im Alltag. Diese soll nur beantwortet werden, falls der Patient bei den vorigen Items Beschwerden angegeben hat.

3.4 Sprachaudiometrie

Um die Hörsituation der Patienten vor und nach der CI-Implantation erfassen und vergleichen zu können wurden sprachaudiometrische Verfahren angewandt. Dazu nutzten wir den Freiburger Einsilbertest (FE) und den Oldenburger Satztest (OLSA). Der FE wurde zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt: präoperativ im Rahmen der Vordiagnostik, nach der ersten CI-Implantation sowie nach der bilateralen CI-Versorgung. Die Durchführung des OLSAs erfolgte ausschließlich zu den beiden postoperativen Zeitpunkten.

3.4.1 Freiburger Einsilbertest

Der Freiburger Einsilbertest (standardisiert nach DIN 45621) ist ein Sprachverständlichkeitstest, der im Jahre 1953 von K.H. Hahlbrock begründet wurde und das prozentuale Wortverständnis bei verschiedenen Schalldruckpegeln misst (97). Er besteht aus insgesamt 20 Gruppen mit jeweils 20 einsilbigen Substantiven. Die verschiedenen Gruppen wurden unter phonetischen Gesichtspunkten so zusammengestellt, dass sie eine ähnliche Häufigkeit der einzelnen Vokale und Konsonanten und dieselbe Anzahl an Lauten aufweisen, um eine Vergleichbarkeit der Gruppen zu gewährleisten. Weitere Kriterien waren die Verwendung gebräuchlicher Wörter, wie z.B. „Schnee“, „Wurst“, „Zahn“, „Pest“, „Griff“,...aus Gruppe 4, und eine möglichst genaue Wiedergabe der normalen Lautverteilung der deutschen Sprache (97).

Versuchsaufbau

Die prä- und postoperativen Untersuchungen mittels FE fanden in einer schallisolierten Audiometrikabine am CVK bzw. im Oberlinhaus in Potsdam statt, wobei die Patienten sich frontal (0°) in einem Meter Entfernung vom Lautsprecher befanden. Über den Lautsprecher wurden die unterschiedlichen Testreihen bei einem Schalldruckpegel von 65dB im Freifeld vorgespielt und der Patient gebeten, die verstandenen Wörter nachzusprechen. Durch die Anzahl der korrekt verstandenen Wörter ließ sich das prozentuale Wortverständnis bzw. der Diskriminationsverlust ermitteln. Für jede Hörsituation spielten wir 2 Testreihen vor und bildeten anschließend den Mittelwert. Dabei achteten wir darauf, ausschließlich Testreihen zu verwenden, die keine großen Abweichungen vom durchschnittlichen Schwierigkeitsgrad aufweisen und somit als unkritisch gelten (98).

3.4.2 Oldenburger Satztest

Der Oldenburger Satztest (OLSA) wurde von Wagener et al. im Jahre 1999 entwickelt und misst die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch. Er basiert auf dem schwedischen Satztest nach Hagermann und konnte durch Analyse bereits bestehender Satztests (Marburger-, Göttinger- und HSM-Satztest) weiterentwickelt werden (99, 100). Da CI-Patienten bei Umgebungsgeräuschen die größten Verständnisprobleme aufweisen, stellt der OLSA eine geeignete Möglichkeit dar, diese Hörsituation zu untersuchen.

Das Repertoire des OLSAs umfasst zehn Sätze mit jeweils fünf Wörtern. Ein Satz ist immer wie nachfolgend aufgebaut: „Name, Verb, Zahl, Adjektiv, Objekt“, wobei die insgesamt 50 Wörter unter Einhaltung der Satzstruktur zufällig kombiniert werden können. Dadurch sind 10^5 unterschiedliche Satzkombinationen möglich, was ein Auswendiglernen der Sätze verhindert. Die Sprechgeschwindigkeit ist mit 233 Silben/min als normal bis mäßig einzustufen und passt sich so an die Bedürfnisse von CI-Patienten an (99).

Das Störgeräusch entspricht einem Rauschen und hat einen konstanten Schalldruckpegel. Die Lautstärke der Sprache ist hingegen variabel und wird je nach Antwort des Patienten angepasst. Ziel der Messung ist dabei die Ermittlung der Sprachverständlichkeitsschwelle (SVS) im Störgeräusch, welche man als Signal-Rausch-Abstand (dB S/N) definiert und die Differenz zwischen dem Schalldruckpegel der Sprache und dem Störgeräusch bei 50% Sprachverständlichkeit wiedergibt.

Versuchsaufbau OLSA

Bei der Testung des OLSAs wurden je nach Zeitpunkt unterschiedliche Hörsituationen geprüft. Im Rahmen der unilateralen CI-Versorgung der DSD-Patienten erfassten wir eine Hörsituation:

- Mit CI: Signalschall und Störgeräusch 0° (S_0N_0)

Die Evaluation der bilateralen CI-Versorgung erfolgte mittels dreier unterschiedlicher Hörsituationen (S_0N_0 , $S_{re}N_{li}$, $S_{li}N_{re}$), die jeweils für das rechte, das linke sowie für beide CIs zusammen durchgeführt wurden. Auf diese Weise war es möglich die Effekte des binauralen Hörens sowohl für die unilaterale als auch die bilaterale Hörsituation zu bestimmen und diese anschließend zu vergleichen:

- CI rechts: Signalschall und Störgeräusch 0° (S_0N_0)
- CI rechts: Signalschall rechts $+90^\circ$ und Störgeräusch links -90° ($S_{re}N_{li}$)
- CI rechts: Signalschall links -90° und Störgeräusch rechts $+90^\circ$ ($S_{li}N_{re}$)
- CI links: Signalschall und Störgeräusch 0° (S_0N_0)
- CI links: Signalschall rechts $+90^\circ$ und Störgeräusch links -90° ($S_{re}N_{li}$)
- CI links: Signalschall links -90° und Störgeräusch rechts $+90^\circ$ ($S_{li}N_{re}$)
- CI beidseits: Signalschall und Störgeräusch 0° (S_0N_0)
- CI beidseits: Signalschall rechts $+90^\circ$ und Störgeräusch links -90° ($S_{re}N_{li}$)
- CI beidseits: Signalschall links -90° und Störgeräusch rechts $+90^\circ$ ($S_{li}N_{re}$)

Nach Erläuterung des Ablaufs wurde den Patienten zunächst eine Testreihe mit 20 Sätzen vorgespielt, die nicht in die Auswertung mit einfluss. Auf diese Weise kann die durch den Trainingseffekt entstehende Messungenauigkeit auf unter 1dB S/N verbessert werden (101). Anschließend spielten wir den Patienten für jede beschriebene Hörsituation eine Testreihe mit 30 Sätzen vor und baten sie, die gehörten Sätze laut nachzusprechen. Der Schalldruckpegel des Störgeräusches lag dauerhaft bei 65 dB. Auch der Schalldruckpegel des Signalschalles lag zu Beginn jeder Testreihe bei 65 dB, änderte sich jedoch nach jedem Satz in Abhängigkeit von der Anzahl korrekt erkannter Wörter. Konnte der Patient mehr als 50% der Wörter verstehen, so wurde der Schalldruckpegel des Signalschalles für den nächsten Satz automatisch herunterreguliert. Erkannte der Patient hingegen weniger als 50% der Wörter wurde der darauffolgende Satz lauter abgespielt. Eine Testung mit Normalhörigen ergab eine durchschnittliche SVS von -7,1 dB S/N (101). Da bei einer zu großen Differenz der beiden Pegel keine zuverlässigen Ergebnisse zu erwarten sind, werteten wir alle Testreihen mit einer SVS von $\geq +20$ dB S/N als nicht durchführbar. Die SVS der durchführbaren Testreihen ermittelte automatisch die Software AT900 der Firma AURITEC.

3.5 Statistische Auswertung

Die Durchführung der statistischen Analyse erfolgte mit dem Programm IBM SPSS Statistics 25 (SPSS Inc.). Das verwendete Signifikanzniveau lag bei $p \leq 0,05$ für signifikante, bei $p \leq 0,01$ für sehr signifikante und bei $p \leq 0,001$ für hochsignifikante Ergebnisse.

Für jede untersuchte Hörsituation und jede Kategorie innerhalb eines Fragebogens wurden der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet.

Zum Vergleich der präoperativen Daten mit denen nach der ersten Operation und zum Vergleich der beiden postoperativen Datensätze miteinander wurde der nicht-parametrische Wilcoxon-Test angewandt.

4. Ergebnisse

4.1 Patientenkohorte

Allgemein

Von den 22 teilnehmenden Patienten sind 15 männlich und sieben weiblich, womit ein Männer-Frauen-Verhältnis von 2,1:1 gegeben ist.

Die Erstversorgung mit einem Multichannel-CI erfolgte zwischen 2009 und 2015, die Zweitversorgung zwischen 2012 und 2016. Alle Operationen wurden am CVK durchgeführt. Eingesetzt wurden ausschließlich Implantate der Firmen Cochlear und MED-EL. Präoperativ gaben die Patienten eine durchschnittliche Ertaubungsdauer von 21,45 Jahren (Standardabweichung 17,21 Jahre, Min. 0,2 Jahre, Max. 63 Jahre) an.

Erste Operation

Das Durchschnittsalter der Patienten betrug bei der ersten Operation 62,07 Jahre (SD 9,26 Jahre, Min. 45,45 Jahre, Max. 79,65 Jahre). Bei zwölf Patienten wurde zuerst das linke Ohr mit einem CI versorgt, bei zehn Patienten zuerst das rechte Ohr (Verhältnis von 1,2:1).

Die Dauer zwischen CI-Anpassung und postoperativer Datenerhebung lag bei 0,50 Jahren (SD 0,06 Jahre, Min. 0,39 Jahre, Max. 0,61 Jahre).

Zweite Operation

Zwischen den beiden Operationen vergingen durchschnittlich 22,07 Monate (SD 14,74 Monate, Min. 6,03 Monate, Max. 54,97 Monate), womit das Patientenalter bei der zweiten Operation mit 63,88 Jahren (SD 9,75 Jahre, Min. 48,38 Jahre, Max. 80,24 Jahre) angegeben werden kann.

Die Dauer zwischen der zweiten Operation und der anschließenden Datenerhebung lag bei 2,91 Jahren (SD 1,11 Jahre, Min. 0,54 Jahre, Max. 4,59 Jahre).

4.2 Sprachverstehen

4.2.1 Freiburger Einsilbertest

4.2.1.1 Ergebnisse

Im Rahmen der präoperativen Durchführung des Freiburger Einsilbertests in Ruhe ließ sich feststellen, dass die Sprachverständlichkeit auf dem zuerst operierten Ohr um 7,04% geringer war als auf dem sekundär operierten Ohr. Nach der einseitigen CI-Versorgung kam es zu einem deutlichen Anstieg der Sprachverständlichkeit auf dem CI-Ohr. Dabei zeigte sich eine große Spanne zwischen den einzelnen Patienten mit Werten von null bis zu 100 Prozent.

Nach der bilateralen Versorgung konnte bei unilateraler Nutzung der CIs sowohl auf dem erstversorgten (+ 1,99%) als auch auf dem zweitversorgten Ohr (+ 7,9%) eine leichte Verbesserung der Sprachverständlichkeit im Vergleich zur unilateralen Versorgungssituation gemessen werden. Bei der Evaluierung beider CIs zusammen fiel auf, dass sich die Patienten durch das zusätzliche CI weiter verbesserten. In Tabelle 3 sind die einzelnen FE-Werte und deren Veränderungen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse FE (bei 65 dB SPL im Freifeld)

Hörsituation	MW in % (SD)	Minimum	Maximum
präoperativ: operiertes Ohr (n=22)	6,82 (11,6)	0,0	35,0
präoperativ: nicht operiertes Ohr (n=22)	13,86 (18,25)	0,0	60,0
unilateral: mit CI (n=21)	48,69 (28,94)	0,0	100,0
bilateral: CI 1. Seite (n=22)	50,68 (22,16)	5	90,0
bilateral: CI 2. Seite (n=22)	56,59 (19,24)	15,0	85,0
bilateral: CI beidseits (n=22)	66,59 (19,11)	15,0	90,0

4.2.1.2 Gruppenvergleich

Da bei einem Patienten kein Ergebnis für den FE nach der ersten Operation vorlag, erfolgte der Gruppenvergleich mit einer Zahl von 21 Patienten. Beim Vergleich zwischen präoperativer und unilateraler Patientenkohorte konnte eine hochsignifikante Zunahme der Sprachverständlichkeit auf dem implantierten Ohr ($p < 0,001$) nachgewiesen werden. Insgesamt ergab sich sechs Monate nach der ersten Operation eine durchschnittliche Zunahme von 41,55% im Vergleich zur präoperativen Situation.

Auch nach der zweiten Operation kam es im Freiburger Einsilbertest bei bilateraler CI-Nutzung zu einer signifikanten Verbesserung im Vergleich zur unilateralen Situation ($p = 0,002$). Es konnte ein weiterer Anstieg um durchschnittlich 17,74% nachgewiesen werden. In Tabelle 4 sind die einzelnen FE-Werte zu den im Gruppenvergleich untersuchten Hörsituationen dargestellt.

Tabelle 4: FE Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI). n = 21

Hörsituation	MW in % (SD)	p-Wert
präoperativ: operiertes Ohr	7,14 (11,79)	
unilateral: mit CI	48,69 (28,94)	
Differenz	41,55	<0,001***
unilateral: mit CI	48,69 (28,94)	
bilateral: CI beidseits	66,43 (19,57)	
Differenz	17,74	0,002**

Signifikanzniveau: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

4.2.2 OLSA

4.2.2.1 Ergebnisse

Die Testung der neun Hörsituationen nach bilateraler CI-Versorgung erfolgte bei allen 22 Studienteilnehmern. Nach unilateraler CI-Versorgung erschienen 21 Patienten zum Hörtest, wobei wir diesen bei einer SVS von >20 dB als nicht durchführbar werteten. Bei insgesamt vier Patienten war dies der Fall, sodass nach der ersten Operation die OLSA-Ergebnisse von insgesamt 17 Patienten vorlagen.

Im ersten Versuchsaufbau trugen die Patienten das CI nur linksseitig. Kam die Sprache ebenfalls von links und das Störgeräusch von rechts, so wiesen die Patienten eine negative SVS auf ($-4,905 \pm 3,6$ dB). Nachdem die Sprache und das Störgeräusch auf die jeweils gegenüberliegende Seite wechselten, verschlechterte sich das Hörergebnis um 12,11 dB.

Ähnliche Ergebnisse traten auf, als die Patienten nur das rechte CI trugen. Befand sich das Sprachgeräusch auf der CI-Seite, so erzielten die Patienten eine um 11,73 dB bessere SVS als nach dem Wechsel des Sprachsignals auf die gegenüberliegende Seite. Es fiel auf, dass das rechte CI in vergleichbaren Hörsituation (z.B. CI rechts $S_{re}N_{li}$ und CI links $S_{li}N_{re}$) durchschnittlich etwas schlechter abschnitt (zwischen 0,56 und 1,01 dB) als das linke CI.

Die Nutzung beider CIs simulierte die binaurale Hörsituation. Dabei wurden ebenfalls die Hörsituationen erfasst, bei denen Sprach- und Störgeräusch aus entgegengesetzten Richtungen kommen. Hier zeigte sich im Seitenvergleich nur ein geringer Unterschied der SVS (0,39 dB), die in beiden Fällen einen negativen Wert aufwies.

Zusätzlich wurden sowohl nach unilateraler als auch bilateraler CI-Versorgung Hörsituationen untersucht, bei denen Sprach- und Störgeräusch von frontal kamen. Dabei konnte ein Vorteil der bilateralen gegenüber der unilateralen CI-Nutzung unterschiedlichen Ausmaßes gemessen werden (genauere Darstellung unter den folgenden OLSA-Kapiteln „Summationseffekt“ und „Gruppenvergleich“).

In Tabelle 5 sind die einzelnen OLSA-Werte zu den nach bilateraler CI-Versorgung untersuchten Hörsituationen dargestellt. In Tabelle 6 finden sich die OLSA-Werte nach unilateraler CI-Versorgung.

Tabelle 5: Ergebnisse OLSA im Störgeräusch mit BCI. n = 22

Hörsituation	Mittelwert in dB (SD)	Minimum in dB	Maximum in dB
CI links $S_{ii}N_{re}$	-4,905 (3,6)	-11,9	2,3
CI links S_0N_0	1,509 (3,48)	-3,2	10,9
CI links $S_{re}N_{li}$	7,209 (3,61)	1,9	14,4
CI beidseits $S_{ii}N_{re}$	-3,859 (4,42)	-12,9	4,7
CI beidseits S_0N_0	0,368 (3,11)	-3,5	7,7
CI beidseits $S_{re}N_{li}$	-3,473 (4,76)	-9,7	9,4
CI rechts $S_{ii}N_{re}$	7,836 (5,03)	1,2	20,0
CI rechts S_0N_0	2,073 (4,64)	-2,8	14,8
CI rechts $S_{re}N_{li}$	-3,895 (5,22)	-10,8	12,7

Tabelle 6: Ergebnisse OLSA im Störgeräusch mit UCI. n = 17

Hörsituation	MW in dB (SD)	Minimum in dB	Maximum in dB
CI unilateral S_0N_0	1,93 (4,07)	-2,0	14,4

4.2.2.2 Gruppenvergleich

Bei insgesamt 13 der 17 eingeschlossenen Patienten verbesserte sich nach der zweiten Operation die SVS. Zwei Patienten wiesen konstante Werte auf und bei zwei Patienten kam es zu einer Verschlechterung der SVS.

Im Rahmen der unilateralen CI-Versorgung erreichten die 17 Patienten, bei denen der OLSA im Störgeräusch durchgeführt werden konnte, eine SVS von $1,932 \text{ dB} \pm 4,07$. Bei weiteren vier Patienten wurde eine Durchführung des OLSAs begonnen, jedoch aufgrund einer zu geringen Sprachverständlichkeit im Störgeräusch, welche bei deutlich über 20 dB lag, abgebrochen.

Nach der zweiten Operation wurde bei denselben 17 Patienten eine durchschnittliche SVS von $-0,735 \text{ dB} \pm 2,04$ gemessen. Dies entspricht einer signifikanten Verbesserung von $2,667 \text{ dB} \pm 2,03$ ($p = 0,002$). Außerdem wiesen alle vier Patienten, bei denen der OLSA nach der ersten Operation nicht erfolgreich durchgeführt werden konnte, bei bilateraler CI-Nutzung eine SVS von $<20 \text{ dB}$ auf. Deren Ergebnisse flossen jedoch nicht in den Gruppenvergleich mit ein. In Tabelle 7 findet sich eine Übersicht der für den Gruppenvergleich relevanten Werte.

Tabelle 7: OLSA im Störgeräusch Gruppenvergleich (UCI vs. BCI). $n = 17$

Hörsituation	MW in dB (SD)	Minimum	Maximum	p-Wert
CI unilateral S_0N_0	1,932 (4,07)	-2,0	14,4	
CI beidseits S_0N_0	-0,735 (2,04)	-3,5	5,4	
Differenz	2,667 (2,03)	1,5	9,0	0,002**

Signifikanzniveau: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

4.2.2.3 Summationseffekt

Zur Berechnung des Summationseffektes erfolgte ein Vergleich der Ergebnisse nach unilateraler (simuliert durch das Ablegen eines CIs) und bilateraler Versorgung, wobei Sprach- und Störsignal jeweils von frontal präsentiert wurden.

Trugen die Patienten nur ihr erstimplantiertes CI, so erreichten sie im OLSA eine Sprachverständlichkeit von 50% bei $1,882 \pm 4,46$ dB. Bei beidseitiger CI-Nutzung verbesserte sich der Mittelwert auf $0,368 \pm 3,11$ dB. Der Summationseffekt durch das zusätzlich verwendete CI lässt sich mit 1,514 dB beziffern.

Bei ausschließlicher Verwendung des zweitimplantierten CIs betrug die SVS $1,7 \pm 3,73$ dB. Hier lag der Summationseffekt durch das zusätzlich genutzte CI bei 1,332 dB.

Sowohl für das zusätzlich verwendete zweitimplantierte ($p = 0,002$) als auch das erstimplantierte CI ($p = 0,004$) ergab sich ein signifikanter Summationseffekt, der gemittelt mit 1,423 dB angegeben werden kann. Tabelle 8 führt die für den Summationseffekt relevanten Werte auf.

Tabelle 8: OLSA im Störgeräusch; Darstellung des Summationseffektes. $n = 22$

Hörsituation	MW in dB (SD)	p-Wert
CI erstoperiertes Ohr SoNo	1,882 (4,46)	
CI beidseits SoNo	0,368 (3,11)	
Differenz	1,514	0,002**
CI zweitoperiertes Ohr SoNo	1,700 (3,73)	
CI beidseits SoNo	0,368 (3,11)	
Differenz	1,332	0,004**

Signifikanzniveau: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

4.2.2.4 Kopfschatteneffekt

Befand sich in der Testreihe das Störsignal auf dem erstoperierten Ohr und das Sprachsignal auf der kontralateralen Seite, so wurde bei alleiniger Nutzung des erstimplantierten CIs eine SVS von $7,232 \pm 4,65$ dB gemessen. Bei unverändertem Versuchsaufbau und beidseitiger CI-Nutzung verbesserte sich die SVS auf $-3,814 \pm 4,15$ dB. Der Kopfschatteneffekt für das zweitimplantierte CI lag somit bei 11,046 dB.

Im zweiten Versuchsaufbau befand sich das Störgeräusch auf dem zweitversorgten Ohr und das Sprachsignal auf der gegenüberliegenden Seite. Zunächst trugen die Patienten nur ihr zweitimplantiertes CI und erreichten eine SVS von $7,814 \pm 4,09$ dB. Bei bilateraler CI-Nutzung verbesserte sich der Wert auf $-3,518 \pm 5,01$ dB. Hieraus ergab sich für das erstimplantierte CI ein Kopfschatteneffekt von 11,332 dB.

Durchschnittlich erreichten die Patienten durch das zusätzliche CI einen Kopfschatteneffekt von 11,189 dB. Im Vergleich zur unilateralen Situation stellt dies eine hochsignifikante Zunahme der SVS dar (p-Wert jeweils $<0,001$). Tabelle 9 führt die für den Kopfschatteneffekt relevanten Werte auf.

Tabelle 9: OLSA im Störgeräusch; Darstellung des Kopfschatteneffektes. n = 22

Hörsituation	MW in dB (SD)	p-Wert
CI erstoperiertes Ohr S _{kontrat.Ohr} N _{1.CI}	7,232 (4,65)	
CI beidseits S _{2.CI} N _{1.CI}	-3,814 (4,15)	
Differenz	11,046	<0,001***
CI zweitoperiertes Ohr S _{kontrat.Ohr} N _{2.CI}	7,814 (4,09)	
CI beidseits S _{1.CI} N _{2.CI}	-3,518 (5,01)	
Differenz	11,332	<0,001***

Signifikanzniveau: *p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001

4.2.2.5 Squelch-Effekt

Die Messung des Squelch-Effektes erfolgte analog zur Bestimmung der anderen beiden Effekte des binauralen Hörens. Der Squelch-Effekt für das zweitimplantierte CI ergab sich durch den Vergleich der Hörsituationen CI erstoperiertes Ohr $S_{1.CI}N_{kontralat.Ohr}$ ($-4,241 \pm 5,34$ dB) und CI beidseits $S_{1.CI}N_{2.CI}$ ($-3,518 \pm 5,01$). Dies bedeutete eine nicht signifikante Verschlechterung der SVS von $-0,723$ dB bei beidseitiger CI-Nutzung ($p = 0,115$).

Beim Vergleich der Hörsituationen CI zweitoperiertes Ohr $S_{2.CI}N_{kontralat.Ohr}$ ($-4,559 \pm 3,49$ dB) und CI beidseits $S_{2.CI}N_{1.CI}$ ($-3,814 \pm 4,15$ dB) ließ sich für das zusätzlich genutzte erstimplantierte CI eine Verschlechterung des Squelch-Effektes beobachten. Diese betrug $-0,745$ dB und war damit ebenfalls nicht signifikant ($p = 0,070$).

Insgesamt zeigte sich in der Patientenkohorte ein negativer Squelch-Effekt mit einem Wert von $-0,734$ dB. Tabelle 10 führt die für den Squelch-Effekt relevanten Werte auf.

Tabelle 10: OLSA im Störgeräusch; Darstellung des Squelch-Effektes. $n = 22$

Hörsituation	MW in dB (SD)	p-Wert
CI erstoperiertes Ohr $S_{1.CI}N_{kontralat. Ohr}$	-4,241 (5,34)	
CI beidseits $S_{1.CI}N_{2.CI}$	-3,518 (5,01)	
Differenz	-0,723 (0,33)	0,115
CI zweitoperiertes Ohr $S_{2.CI}N_{kontralat. Ohr}$	-4,559 (3,49)	
CI beidseits $S_{2.CI}N_{1.CI}$	-3,814 (4,15)	
Differenz	-0,745 (0,66)	0,070

Signifikanzniveau: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

4.2.3 Oldenburger Inventar

Es zeigte sich eine signifikante Verbesserung des subjektiven Hörvermögens um 1,52 Punkte nach der ersten Operation (von $1,73 \pm 0,54$ präoperativ auf $3,25 \pm 0,8$) ($p < 0,001$) und eine weitere Verbesserung, jedoch nicht signifikant, nach der zweiten Operation um 0,27 Punkte ($p = 0,12$). Alle drei Subskalen (Hören in Ruhe, Hören im Störgeräusch und Richtungshören) verzeichneten einen signifikanten Anstieg nach der ersten Operation.

Beim Vergleich von unilateraler mit bilateraler Situation kam es zu einer signifikanten Zunahme der Subskalen „Hören in Ruhe“ ($p = 0,028$) und „Richtungshören“ ($p = 0,032$), wohingegen das „Hören im Störgeräusch“ sich nicht signifikant verbesserte ($p = 0,499$). In Tabelle 11 sind die einzelnen OI-Werte und deren Veränderungen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 11: OI-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI).

OI-Kategorien	Präoperativ MW (SD) n = 21	CI unilateral MW (SD) n = 22	p-Wert n=21	CI bilateral MW (SD) n = 22	p-Wert n=22
Hören in Ruhe	1,98 (0,69)	3,73 (0,79)	<0,001***	4,06 (0,76)	0,028*
Hören im Störgeräusch	1,39 (0,45)	2,92 (0,89)	<0,001***	3,01 (0,92)	0,499
Richtungshören	1,98 (0,83)	2,88 (1,11)	0,003**	3,41 (0,89)	0,032*
Gesamtwert	1,73 (0,54)	3,25 (0,85)	<0,001***	3,52 (0,78)	0,12

Signifikanzniveau: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

4.3 Lebensqualität

4.3.1 NCIQ

Die Auswertung des NCIQs ergab eine signifikante Verbesserung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität von $41,19 \pm 10,49$ präoperativ auf $55,13 \pm 16,24$ nach einseitiger CI-Versorgung ($p < 0,001$). Dabei stiegen ebenfalls alle sechs Subdomänen signifikant an, am meisten die „Elementare Schallwahrnehmung“ (NCIQ 1) mit 19,4 Punkten und die „Sprach- und Musikwahrnehmung“ (NCIQ 2) mit 19,95 Punkten.

Nach beidseitiger Versorgung erhöhte sich der NCIQ-Gesamtscore weiter signifikant auf $64,37 \pm 18,80$ ($p = 0,004$). Die einzelnen Subskalen verzeichneten im Vergleich zur Situation mit einem CI eine signifikante Zunahme von 8,65 bis zu 16,08 Punkten, mit Ausnahme der Subskala „Kontrolle der eigenen Stimme“ (NCIQ 3). Insbesondere die psychische und soziale Funktionsfähigkeit mit den Kategorien „Selbstwertgefühl“ (NCIQ 4), „Aktivität“ (NCIQ 5) sowie „soziale Interaktion“ (NCIQ 6) verbesserte sich nach der zweiten Implantation signifikant.

Durchschnittlich trugen die Patienten das erste CI 13,91 h täglich und nach beidseitiger Versorgung für 14,48 h, was einer nicht signifikanten Zunahme entspricht ($p = 0,171$). Auch die Zufriedenheit der Patienten veränderte sich nach der zweiten Operation nur geringfügig von 73,81 auf 75 ($p = 0,499$). In Tabelle 12 und 13 sind die Veränderungen der einzelnen NCIQ-Werte und der NCIQ-Zusatzfragen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 12: NCIQ-Zusatzfragen-Ergebnisse und Gruppenvergleich (UCI vs. BCI).

NCIQ-Zusatzkategorien	CI unilateral MW (SD)	CI bilateral MW (SD)	p-Wert
Zufriedenheit	73,81 (16,73)	75 (25,59)	0,499
Tragedauer (in h)	13,91 (2,43)	14,48 (2,64)	0,171

Tabelle 13: NCIQ-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI).

n = 22

NCIQ-Kategorien	Präoperativ MW (SD)	CI unilateral MW (SD)	p-Wert	CI bilateral MW (SD)	p-Wert
Elementare Schallwahrnehmung	35,84 (17,80)	55,24 (25,12)	0,003**	71,32 (23,20)	<0,001* **
Erweiterte Schallwahrnehmung	33,56 (14,03)	53,51 (20,99)	<0,001* **	63,31 (23,16)	0,018*
Sprach- und Lautproduktion	57,49 (18,04)	70,04 (18,14)	0,002**	72,03 (16,12)	0,538
Selbstwertgefühl	44,34 (16,68)	51,58 (14,90)	0,009**	60,95 (18,38)	0,008**
Aktivität	38,28 (14,81)	47,68 (18,39)	0,024*	57,09 (24,34)	0,006**
soziale Interaktionen	38,27 (16,33)	53,04 (19,49)	0,004**	61,69 (20,72)	0,016*
Gesamtscore	41,19 (10,49)	55,13 (16,24)	<0,001* **	64,37 (18,80)	0,004**

Signifikanzniveau: *p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001

4.3.2 SF-36

Bei Betrachtung der Summenskalen fiel einzig eine signifikante Abnahme der „Körperlichen Summenskala“ von $51,74 \pm 8,86$ präoperativ auf $48,69 \pm 10,27$ mit einem CI auf ($p = 0,042$). Nach der kontralateralen Implantation sank der Wert nicht signifikant auf $45,45 \pm 9,09$ ($p = 0,131$).

Die „Psychische Summenskala“ verbesserte sich mit einem CI zwar leicht um 3,1 Punkte, fiel aber mit beiden CIs um 2,53 Punkte fast auf das Ausgangsniveau zurück, wobei das Signifikanzniveau in beiden Fällen bei $p \geq 0,05$ lag.

Die Auswertung der einzelnen Gesundheitskonzepte ergab eine signifikante Abnahme der „Körperlichen Funktionsfähigkeit“ für die bilaterale Hörsituation ($p = 0,012$). Alle anderen Domänen wiesen nicht signifikante Veränderungen auf. In Tabelle 14 sind die Veränderungen der einzelnen SF-36-Werte zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 14: SF-36-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI). n = 22

SF-36-Kategorie	Präoperativ MW (SD)	CI unilateral MW (SD)	p-Wert	Bilateral MW (SD)	p-Wert
Körperliche Funktionsfähigkeit	84,32 (19,41)	82,05 (22,71)	0,544	72,50 (21,20)	0,012*
Körperliche Rollenfunktion	86,36 (32,48)	77,65 (36,40)	0,438	58,33 (43,64)	0,114
Körperliche Schmerzen	86,18 (23,75)	81,77 (24,35)	0,324	77,59 (24,20)	0,328
Allgemeiner Gesundheitszustand	61,97 (21,97)	61,17 (19,94)	0,742	56,52 (18,12)	0,272
Vitalität	61,74 (17,51)	59,77 (17,69)	0,442	54,55 (19,82)	0,055
Soziale Funktionsfähigkeit	71,02 (25,70)	79,55 (26,88)	0,129	75,00 (27,55)	0,185
Emotionale Rollenfunktion	74,24 (38,40)	78,79 (39,23)	0,723	60,61 (46,73)	0,108
Psychisches Wohlbefinden	69,86 (18,42)	73,45 (20,19)	0,250	70,18 (23,58)	0,464
Gesundheitsveränderung	2,82 (0,73)	2,91 (0,29)	0,557	2,82 (0,59)	0,527
Körperliche Summenskala	51,74 (8,86)	48,96 (10,27)	0,042*	45,45 (9,09)	0,131
Psychische Summenskala	45,77 (11,86)	48,87 (12,58)	0,263	46,34 (14,32)	0,498

Signifikanzniveau: *p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001

4.4. Tinnitus

4.4.1 Tinnitus-Fragebogen (TF)

Präoperativ berichteten 16 der 22 DSD-Patienten (72,73%) über Tinnitusbeschwerden. Betrachtet man die Verteilung der Tinnituschweregrade in der Gesamtkohorte, so waren elf Patienten (50%) von einem leichten, zwei (9,09%) von einem mittelgradigen, zwei (9,09%) von einem schweren und einer (4,55%) von einem sehr schweren Tinnitus betroffen. Ein chronisch dekompensierter Tinnitus lag dementsprechend bei drei Studienteilnehmern (13,64%) vor.

Ein halbes Jahr nach der ersten Operation hatte sich die Zahl der an Tinnitus leidenden Patienten auf elf (50%) reduziert. Außerdem war ein Rückgang des Schweregrades zu verzeichnen. Bei zehn der elf Patienten wurde ein kompensierter und nur bei einem ein dekompensierter Tinnitus ermittelt. Insgesamt kam es im TF-Score zu einer signifikanten Abnahme von 12,54 Punkten ($p = 0,012$). Die -Kategorien „Emotionale Belastung“ (E), „Emotionale und kognitive Belastung“ (E+C), „Penetranz des Tinnitus“ (I), „Hörprobleme“ (A) und „Schlafstörungen“ (SI) wiesen signifikante Verbesserungen im Vergleich zur präoperativen Situation auf.

Nach bilateraler CI-Versorgung kam es zu einem leichten Anstieg der Tinnitusprävalenz auf 54,55% (zwölf Patienten), während der TF-Gesamtscore nicht signifikant um weitere 3,44 Punkte sank ($p = 0,410$). Zehn Patienten hatten einen Schweregrad von 1 und zwei Patienten einen Schweregrad von 2, womit sich alle Betroffenen im kompensierten Tinnitus-Stadium befanden. Obwohl sich die Werte aller TF-Skalen nach der zweiten Operation weiter verbesserten, konnten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur Situation mit einem CI nachgewiesen werden. In Tabelle 15 sind die Veränderungen der einzelnen TF-Werte der Tinnituspatienten zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 15: TF-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI). n = 16

TF-Kategorien	Präoperativ MW (SD)	CI unilateral MW (SD)	p-Wert	CI bilateral MW (SD)	p-Wert
Emotionale Belastung (E)	6,31 (4,47)	3,31 (4,36)	0,049*	2,31 (3,24)	0,089
Kognitive Belastung (C)	4,63 (3,74)	2,94 (4,40)	0,124	2,25 (3,38)	0,255
Emotionale und kognitive Belastung (E+C)	10,94 (7,88)	5,50 (8,0)	0,041*	4,56 (6,08)	0,506
Penetranz des Tinnitus (I)	7,06 (4,37)	3,88 (4,69)	0,010*	3,00 (3,80)	0,357
Hörprobleme (A)	6,13 (4,53)	3,00 (4,32)	0,006*	2,63 (3,30)	0,734
Schlafstörungen (SI)	2,13 (2,25)	0,94 (2,29)	0,026*	0,63 (1,03)	0,916
Somatische Beschwerden (So)	1,31 (1,45)	0,75 (1,24)	0,058	0,19 (0,40)	0,056
Gesamtscore	27,00 (18,44)	14,44 (19,47)	0,012*	11,00 (13,44)	0,410

Signifikanzniveau: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

4.5 Psychische Komorbiditäten

4.5.1 PSQ

Die individuelle Stressbelastung, gemessen mit dem PSQ, verzeichnete in keiner der untersuchten Kategorien eine signifikante Veränderung. Der PSQ-Gesamtscore zeigte sich im Verlauf konstant und wies weder nach der ersten noch nach der zweiten Implantation eine signifikante Verbesserung oder Verschlechterung auf. Zu jedem Zeitpunkt lag der PSQ-Gesamtscore unter dem Grenzwert für eine moderate Belastung ($< 0,45$). In Tabelle 16 sind die Veränderungen der einzelnen PSQ-Werte zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 16: PSQ-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI). n = 22

PSQ-Kategorien	Präoperativ MW (SD)	CI unilateral MW (SD)	p-Wert	CI bilateral MW (SD)	p-Wert
Sorge	0,249 (0,26)	0,209 (0,25)	0,191	0,233 (0,28)	0,962
Anspannung	0,257 (0,22)	0,306 (0,24)	0,322	0,306 (0,27)	0,852
Freude	0,615 (0,22)	0,613 (0,25)	0,940	0,594 (0,29)	0,586
Anforderungen	0,285 (0,19)	0,227 (0,26)	0,070	0,252 (0,25)	0,532
Gesamtscore	0,288 (0,18)	0,283 (0,21)	0,858	0,299 (0,24)	0,970

Signifikanzniveau: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

4.5.2 Brief-COPE

Die Auswertung des Brief-COPE-Fragebogens ergab eine signifikante Reduktion der Ebene „Active Coping“ nach der ersten Operation um 2,05 Punkte ($p = 0,036$), während die restlichen

Bewältigungsstrategien im selben Zeitraum keine signifikanten Veränderungen aufwiesen. Nach der zweiten Operation wurden signifikante Abnahmen der Ebenen „Support Coping“ und „Focus on positive“ sowie eine signifikante Zunahme für „Evasive Coping“ beobachtet. Der ermittelte Wert für „Active Coping“ nahm im Vergleich zur ersten Operation nur geringfügig ab. In Tabelle 19 sind die Veränderungen der einzelnen COPE-Werte zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 19: Brief-COPE-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI).

Brief-COPE-Kategorien	Präoperativ n=21 MW (SD)	CI unilateral n=21 MW (SD)	p-Wert n=21	CI bilateral n=22 MW (SD)	p-Wert n=21
Evasive Coping	10,00 (2,49)	8,76 (2,53)	0,058	9,77 (2,49)	0,048*
Support Coping	12,90 (3,51)	11,62 (3,06)	0,218	9,77 (3,22)	0,006**
Focus on positive	14,33 (3,45)	14,81 (4,19)	0,570	11,36 (3,79)	0,006**
Active Coping	11,48 (3,79)	9,43 (2,6)	0,036*	9,09 (3,22)	0,176

Signifikanzniveau: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

4.5.3 ADS-L

Die Untersuchung depressiver Symptome anhand des ADS-L zeigte im Verlauf nur geringe Schwankungen des Gesamtwertes, welche allesamt nicht signifikant waren. Dabei lagen die Werte der Gesamtkohorte zu jedem Zeitpunkt unter dem durchschnittlichen Wert in der Allgemeinbevölkerung von $14,30 \pm 9,7$ bzw. unter dem Wert von 17, ab dem eine Depression für möglich gehalten wird (102). In Tabelle 17 sind die Veränderungen der einzelnen ADS-L-Werte zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 17: ADSL-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI).

ADSL	Präoperativ n=22 MW (SD)	CI unilateral n=22 MW (SD)	p-Wert n=22	CI bilateral n=21 MW (SD)	p-Wert n=21
Gesamtscore	12,32 (9,45)	11,82 (12,56)	0.889	12,57 (10,97)	0.955

Signifikanzniveau: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

4.5.4 GAD-7

Der Gesamtwert der Patienten zur Untersuchung einer generalisierten Angststörung nahm nach der ersten Operation um 0,64 Punkte ab ($p = 0,14$) und nach beidseitiger Versorgung wieder um 0,41 Punkte zu ($p = 0,719$). In beiden Fällen handelte es sich um nicht signifikante Veränderungen. Zieht man als Referenz die Werte in der Allgemeinbevölkerung heran (Männer: $2,7 \pm 3,2$; Frauen: $3,2 \pm 3,5$), so lässt sich feststellen, dass die durchschnittlichen Gesamtwerte der Patientenkohorte geringfügig höher waren, jedoch weiterhin unter dem Grenzwert für eine milde Angststörung lagen (5 Punkte) (103). In Tabelle 18 sind die Veränderungen der einzelnen GAD-7-Werte zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 18: GAD-7-Ergebnisse und Gruppenvergleich (präoperativ vs. UCI und UCI vs. BCI). n = 22

GAD	Präoperativ MW (SD)	CI unilateral MW (SD)	p-Wert	CI bilateral MW (SD)	p-Wert
Gesamtscore	3,91 (4,19)	3,27 (4,23)	0,14	3,68 (4,75)	0,719

Signifikanzniveau: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

5. Diskussion

Die vorliegende Studie untersuchte den Einfluss der Cochlea-Implantat-Versorgung auf Sprachverstehen, Lebensqualität, Tinnitusbelastung und Komorbiditäten von Patienten mit bilateraler CI-Versorgung. Von besonderem Interesse war die Beurteilung des zusätzlichen Nutzens des zweiten CIs für DSD-Patienten. Neben der Messung des Sprachverstehens in Ruhe durch den FE spielt dabei vor allem die Erfassung von komplexeren Hörsituationen eine wichtige Rolle. Dazu führten wir Variationen des OLSAs ein, mit denen nicht nur die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch, sondern auch die drei Effekte des binauralen Hörens bestimmt werden konnten. Darüber hinaus erfassten wir, entsprechend der Forderung anderer Autoren, weitere Aspekte wie krankheitsspezifische und generische Lebensqualität, Tinnitusbelastung und psychische Komorbiditäten (104, 105).

Im Folgenden werden die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse im Kontext der bestehenden Literatur diskutiert und eingeordnet.

5.1 Veränderung des Sprachverstehens

5.1.1 Freiburger Einsilbertest

Zur Messung der Sprachverständlichkeit in Ruhe setzten wir mit dem FE ein etabliertes und schnell durchführbares sprachaudiometrisches Verfahren ein. Dabei handelt es sich vermutlich um den am weitesten verbreiteten Sprachtest im deutschsprachigen Raum (106).

Die präoperativen Ergebnisse des FEs zeigen, dass das Hörvermögen auf beiden Ohren stark reduziert war. Mit einer Sprachverständlichkeit von 6,82% auf dem primär und 13,86% (n = 22) auf dem sekundär operierten Ohr, war die Indikation für ein CI beidseits gegeben. Die audiometrischen Daten bestätigen also die bilaterale Ertaubung der Patienten. Nach der ersten Operation verbesserte sich das Sprachverstehen auf dem CI-Ohr signifikant auf durchschnittlich 48,69% (n = 21). Durch das zweite CI konnte ein weiterer signifikanter Anstieg auf 66,43% (n = 22) verzeichnet werden.

Andere Studien zu bilateral ertaubten Patienten präsentierten meist FE-Daten, die nur für zwei unterschiedliche Hörsituationen erhoben wurden. So verglichen Knopke et al. (2017) ausschließlich die präoperativen Ergebnisse mit denen nach unilateraler CI-Versorgung. Müller et al. (2002), Olze et al. (2012) und Radeloff et al. (2017) stellten hingegen einen Vergleich von unilateraler mit bilateraler CI-Nutzung an, wobei die präoperativen Ergebnisse unerwähnt blieben.

Bei Knopke et al. (2017) fanden sich präoperative Ausgangswerte von 7,9%, welche ein halbes Jahr nach der Operation auf 40,4% anstiegen (107). Der Benefit des ersten CIs fiel demnach mit 32,5% etwas geringer aus als in der hier vorliegenden Studie (41,55%). Eine kontralaterale CI-Versorgung wurde bei den 41 Studienteilnehmern nicht vorgenommen.

In den Arbeiten von Müller et al. (2002) und Olze et al. (2012) wurde der FE ebenfalls bei 65 dB SSP durchgeführt (43, 69). Dabei verbesserte sich die Patientenkohorte bei Müller et al. (2002) um 18,7% und bei Olze et al. (2012) um durchschnittlich 16,3% im Vergleich zur unilateralen Hörsituation. Die Ergebnisse decken sich mit denen aus dieser Studie (+17,74%). In der Studie von Radeloff et al. (2017) fiel der binaurale Gewinn mit 9% (von 54% unilateral auf 63% bilateral) etwas geringer aus, wobei der FE bei 70 dB SSP durchgeführt wurde (108).

Trotz seiner außergewöhnlichen Stellung innerhalb der sprachaudiometrischen Verfahren hat sich die Kritik am FE in den letzten Jahren gehäuft (109). Diese bezieht sich unter anderem auf die unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade der einzelnen Testlisten, eine mittlerweile als veraltet geltende Aufnahmetechnik und die geringe statistische Relevanz einer einzelnen Testliste im Vergleich zu Satztests (110, 111). Solange sich aber kein alternatives Verfahren durchgesetzt hat, wird der FE auch in Zukunft eine der tragenden Säulen der Sprachaudiometrie bleiben (111).

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass die hier erhobenen Daten des FEs größtenteils mit denen aus der Literatur übereinstimmen. Die Verbesserungen durch das erste CI sind dabei deutlich größer, jedoch kann durch das zweite CI ebenfalls ein zusätzlicher signifikanter Gewinn des Sprachverstehens in Ruhe erzielt werden. Einschränkend sollte erwähnt werden, dass es trotz dieser nachgewiesenen Erfolge aufgrund großer interindividueller Unterschiede keine Garantie auf eine deutliche Verbesserung der Hörleistung gibt. So reichte die Spanne nach der ersten Operation von 0 bis 100% Einsilberverständlichkeit und nach der zweiten Operation von 15 bis 90%.

5.1.2 Oldenburger Satztest

Der Oldenburger Satztest zählt zu den neueren Sprachtests und eignet sich aufgrund der mäßigen Sprechgeschwindigkeit und des leichten Sprachmaterials besonders für CI-Träger. Durch das Abspielen ganzer Sätze im Störgeräusch spiegelt er die alltäglichen Hörsituationen besser wider als ein einfacher Wörtertest (112).

In der vorliegenden Studie zeigte sich, dass die DSD-Patienten in der monauralen Hörsituation vor allem dann Schwierigkeiten aufwiesen, wenn die Sprache zuerst auf das nicht CI-versorgte Ohr traf und das Störgeräusch sich auf der CI-Seite befand. In dieser Hörsituation erzielten die Patienten ein um ca. 12 dB schlechteres Hörergebnis als bei einem Versuchsaufbau, in dem die Sprache direkt auf das CI-Ohr traf und das Störgeräusch auf die gegenüberliegende Seite wechselte. Diese stark ausgeprägte Seitendifferenz bei DSD-Patienten nach unilateraler CI-Versorgung ist auch in anderen Arbeiten beschrieben (55, 56). Da die Geräusche in alltäglichen Situationen aus meist unterschiedlichen Richtungen kommen, ist das Sprachverständnis der einseitig versorgten DSD-Patienten sehr variabel. Nach bilateraler Implantation fiel bei diesen Patienten vor allem eine Verbesserung in den als schwierig beschriebenen Hörsituationen auf, was sich ebenfalls mit den Ergebnissen anderer Studien deckt (55, 56). Im folgenden Kapitel soll der zusätzliche Nutzen des zweiten CIs anhand der binauralen Effekte genauer diskutiert werden.

5.1.3 Binaurale Effekte

Die drei Effekte des binauralen Hörens wurden jeweils für das erst- und das zweitimplantierte CI im Störgeräusch ermittelt und anschließend als Mittelwert angegeben. Der größte Nutzen konnte dabei für den Kopfschatteneffekt gemessen werden, welcher 11,2 dB betrug. Außerdem zeigte sich eine signifikante Verbesserung durch den Summationseffekt von 1,4 dB. Ein Squelch-Effekt konnte mit einer Verschlechterung von -0,7 dB hingegen nicht nachgewiesen werden. Bei separater Betrachtung der Ergebnisse der erst- und zweitimplantierten CIs konnten keine wesentlichen Unterschiede beobachtet werden. Die Veränderungen der binauralen Effekte waren demnach gleichermaßen für das zweitimplantierte CI nachweisbar. Diese Ergebnisse decken sich zum Teil mit denen aus der existierenden Literatur.

So stellten Laszig et al. (2004) bei einer Gruppe von 37 bilateral operierten Patienten fest, dass im OLSA Verbesserungen durch den Kopfschatteneffekt von 10 dB (schlechtere CI-Seite) bzw. 11,4 dB (bessere CI-Seite) erreicht wurden (34). Bei Schleich et al. (2004) fiel der Kopfschatteneffekt im OLSA mit 6,8 dB etwas geringer aus als in der vorliegenden Studie, war jedoch weiterhin der Effekt mit dem größten Nutzen (45). Der große Nutzen ist vor allem dadurch bedingt, dass dem Patienten zwei Ohren zum Hören zur Verfügung stehen und er auf diese Weise selektiv das Ohr mit dem besseren SRV ansteuern kann, um ein verbessertes Sprachverstehen zu erzielen (37). Im Vergleich zur unilateralen CI-Versorgung profitieren die Patienten dabei am meisten in Situationen, in denen der Sprachschall zuerst auf das ursprünglich unversorgte Ohr trifft. Da es sich um einen physikalischen Effekt handelt, ist der Kopfschatteneffekt auch kurz nach Anpassung des zweiten CIs nutzbar.

In Situationen, in denen Sprach- und Störgeräusch räumlich nicht voneinander getrennt waren, konnten die Patienten ebenfalls eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit erreichen, welche auf den Summationseffekt zurückzuführen ist. Bei Normalhörigkeit wird der Nutzen des Effekts in der Literatur mit etwa 1 dB angegeben (113). Bilateral implantierte Patienten scheinen etwas mehr davon zu profitieren. So konnte bei Schleich et al. (2004) ein Summationseffekt im OLSA von 2,1 dB gemessen werden (45). Auch das Review von Buss et al. (2008) gibt einen durchschnittlichen Summationseffekt von 1,5 bis 2,9 dB an (114). In der vorliegenden Studie war der Summationseffekt nach dem Kopfschatteneffekt der zweitdominanteste binaurale Effekt, wobei dieser sich mit 1,4 dB etwas geringer darstellte als in vergleichbaren Studien. Insgesamt scheint der Summationseffekt einen regelhaften und stabilen Nutzen nach beidseitiger CI-Versorgung mit sich zu bringen, jedoch nicht das Ausmaß des Kopfschatteneffekts zu erreichen.

Der Squelch-Effekt macht sich in ähnlichen Hörsituationen wie der Kopfschatteneffekt bemerkbar, ist hier jedoch als binaurale Verbesserung definiert, die auftritt, wenn die Hörinformationen des weiter vom Störgeräusch entfernten Ohres (mit dem besseren SRV) durch die des gegenüberliegenden Ohres (mit dem schlechteren SRV) ergänzt werden. Bei normalhörenden Personen wurde ein Nutzen von etwa 3 - 5 dB durch den Squelch-Effekt ermittelt (115-117). Die meisten Studien zum Squelch-Effekt bei bilateral implantierten Patienten deuten, wenn überhaupt, nur auf einen limitierten Nutzen hin. Ein variables Studiendesign mit unterschiedlichen Versuchsaufbauten und Follow-Up-Intervallen sowie oft gemischten Studienpopulationen aus simultan und sequentiell operierten Patienten erschwert den Studienvergleich. In der Studie von Schleich et al. (2004) wurde bei 18 Patienten (16 sequentiell und zwei simultan implantiert) ein Squelch-Effekt von durchschnittlich 0,9 dB gemessen, wobei

dieser sich nur für das linke CI als signifikant erwies (45). Aktuell diskutiert wird außerdem, ob es Unterschiede zwischen simultaner und sequentieller CI-Versorgung gibt. In der Studie von Kraaijenga et al. (2016) konnte bei 19 simultan versorgten Patienten nach zwei Jahren ein Squelch-Effekt für das besser hörende Ohr und nach drei Jahren für beide Ohren nachgewiesen werden (118). Dahingegen zeigte sich in einer weiteren Studie von Kaaijenga et al. (2018) bei 19 sequentiell implantierten Patienten auch nach einem Follow-Up von durchschnittlich vier Jahren kein signifikanter Squelch-Effekt (62). Die Ergebnisse aus der hier vorliegenden Studie stimmen mit denen aus der Studie von Kraaijenga et al. (2018) überein. Bei den 22 Studienteilnehmern konnte nach sequentieller CI-Versorgung ebenfalls kein Squelch-Effekt festgestellt werden. Eine Untersuchung simultan implantierter Patienten wurde hingegen nicht durchgeführt.

Kritisch zu bewerten ist, dass die drei Effekte des binauralen Hörens in dieser Studie ausschließlich nach bilateraler CI-Versorgung ermittelt wurden. Zur Erfassung der monauralen Hörsituation baten wir die Patienten jeweils eines der beiden CIs auszuschalten bzw. abzunehmen. Da die Patienten zu diesem Zeitpunkt bereits an das Hören mit zwei Implantaten gewöhnt waren, bildet dies die tatsächliche unilateral versorgte Situation nicht getreu ab und könnte zu einem Bias geführt haben.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch den Kopfschatteneffekt die größten Verbesserungen des Sprachverstehens im Störgeräusch erreicht werden können und dieser bei allen Studienteilnehmern nachweisbar war. Der durch den Summationseffekt bedingte Nutzen war ebenfalls signifikant und steht bilateralen CI-Trägern grundsätzlich zur Verfügung. Die Interpretation des Squelch-Effektes gestaltet sich hingegen schwieriger. Obwohl einzelne Patienten davon profitierten, zeigte sich in der Patientenkohorte kein signifikanter Squelch-Effekt. In der Literatur finden sich Hinweise darauf, dass sich der Squelch-Effekt eher nach simultaner als nach sequentieller CI-Versorgung einstellt. Inwiefern dies zutrifft, ist jedoch nicht abschließend geklärt und sollte in zukünftigen Studien genauer eruiert werden.

5.1.4 Oldenburger Inventar

Sprachaudiometrische Untersuchungen können nicht jede Hörsituation des alltäglichen Lebens getreu abbilden, weshalb es von enormer Wichtigkeit ist, zusätzlich das subjektiv empfundene Hörvermögen der Patienten zu erfassen (84). Dazu nutzten wir das Oldenburger-Inventar (OI) und

erhielten so Informationen darüber, wie die Patienten ihr eigenes Hörvermögen in drei wichtigen Hörsituationen einschätzten.

In dieser Arbeit konnte ein signifikanter Nutzen für das erste CI auf den Gesamtwert und alle Subdomänen des OIs nachgewiesen werden, für das zweite CI hingegen ausschließlich auf die Subdomänen „Hören in Ruhe“ und „Richtungshören“.

Die Evaluation des subjektiven Hörvermögens bei bilateral CI-versorgten Patienten mittels OI ist in der Literatur bisher kaum beschrieben. Für einen direkten Vergleich der OI-Ergebnisse zu den erfassten Zeitpunkten konnte einzig die retrospektive Studie aus unserer Arbeitsgruppe um Olze et al. (2012) identifiziert werden (69). Deren Resultate weisen auf eine Verbesserung des subjektiven Hörvermögens nach der zweiten Implantation hin. So kam es nicht nur nach der ersten, sondern auch nach der zweiten Implantation zu einer signifikanten Zunahme des Gesamtwertes und aller drei Subdomänen des OIs. Im Vergleich zur vorliegenden Studie wurde bei Olze et al. (2012) durch das zweite CI auch eine signifikante Verbesserung der Subdomäne „Hören im Störgeräusch“ und des Gesamtwertes erreicht. Gemein ist beiden Studien, dass die Subdomäne „Richtungshören“ nach der zweiten Operation die stärkste Zunahme verzeichnete.

International wird zur Beurteilung des subjektiven Hörvermögens nach CI-Versorgung statt des OI häufiger der Speech, Spatial and Quality of Hearing Scale (SSQ) verwendet. Der SSQ besteht aus drei Domänen: Sprachverstehen, Richtungshören und Hörqualität. So untersuchten Yawn et al. (2018) eine Gruppe von 22 bilateral ertaubten Patienten nach sequentieller CI-Versorgung mittels SSQ (119). Verglichen wurde die bimodale (CI mit Hörgerät kontralateral) mit der bilateralen (CI beidseitig) Hörsituation bei einem Follow-Up von ca. 12 Monaten. Es konnte eine signifikante Verbesserung aller Domänen durch das zweite CI festgestellt werden. Ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen aus der vorliegenden Studie ist jedoch nicht möglich, da es sich um unterschiedliche Fragebögen handelt.

Ein Grund für die Verwendung des OIs in dieser Studie ist, dass der OI das subjektive Hörvermögen und das Hören im Störgeräusch getreuer abbildet als der SSQ. Die zu erwartende Verbesserung der OI-Subdomäne „Hören im Störgeräusch“ durch das zweite CI war jedoch nicht signifikant. Dies steht im Widerspruch zu den erhobenen sprachaudiometrischen Ergebnissen im OLSA und den Schlussfolgerungen anderer bereits erwähnter Studien. Andererseits konnte die erwartete Verbesserung des „Richtungshören“ im OI festgestellt werden. Resümierend lässt sich sagen, dass der in der Literatur dargestellte Nutzen eines zweiten CIs anhand der OI-Ergebnisse nur zum Teil bestätigt wird.

5.2 Veränderung der Lebensqualität

5.2.1 NCIQ

Der zur Messung der krankheitsspezifischen Lebensqualität eingesetzte NCIQ hat sich in der CI-Forschung als zuverlässiger und valider Fragebogen etabliert (65, 79). Die hohe Sensitivität ermöglicht das Erkennen von klinischen Veränderungen der psychischen, sozialen und psychologischen Funktionsfähigkeit nach CI-Versorgung.

Die mit dem NCIQ in dieser Studie gemessene HRQoL nahm nach der unilateralen CI-Versorgung in allen Subdomänen signifikant zu und verbesserte sich nach beidseitiger Implantation weiter in allen Bereichen, abgesehen von der Sprach- und Lautproduktion (NCIQ 3). Bei genauerer Betrachtung der präoperativen Ergebnisse fiel auf, dass die hier untersuchten DSD-Patienten einen deutlich geringeren NCIQ-Gesamtwert aufwiesen als SSD- und AHL-Patienten in vergleichbaren Studien (120, 121). Während SSD- und AHL-Patienten mit Hilfe ihres kontralateralen Ohres bzw. Hörgerätes vor allem die physischen Subdomänen (NCIQ 1 = Elementare Schallwahrnehmung, NCIQ 2 = Erweiterte Schallwahrnehmung und NCIQ 3 = Sprach- und Lautproduktion) gut zu kompensieren vermögen, zeigen sich bei beidseitig ertaubten Patienten meist in allen NCIQ-Subdomänen deutlich reduzierte Werte. Folglich liegt die Vermutung nahe, dass die unilaterale CI-Versorgung von DSD-Patienten zu signifikanten Verbesserungen aller Subdomänen führt. Dies wird durch die Ergebnisse der vorliegenden und anderer Studien bestätigt (65, 69, 77, 122). Postoperativ beantworteten die Studienteilnehmer zwei zusätzliche Fragen zur CI-Tragedauer und Zufriedenheit. Bereits nach der ersten Operation erreichten die Patienten mit $73,81 \pm 16,73$ ein hohes Maß an Zufriedenheit, welches sich nach der zweiten Implantation nur geringfügig änderte. Die durchschnittliche Tragedauer von ca. 14 Stunden täglich zeigt außerdem, dass die Patienten ihre CIs den Großteil des Tages über aktiv nutzen.

Der zusätzliche Nutzen einer bilateralen CI-Versorgung auf die Lebensqualität der Patienten wurde bisher nur in einer geringen Zahl von Studien aufgezeigt. Dazu zählt unter anderem die retrospektive Studie unserer Arbeitsgruppe von Olze et al. (2012), die den NCIQ für dieselben drei Zeitpunkte wie die vorliegende Studie erhob, was eine gute Vergleichbarkeit ermöglicht (69). In Bezug auf die Evaluation der NCIQ-Ergebnisse ergaben sich für beide Studien ähnliche Resultate. So kam es durch das zweite CI zu einer jeweils signifikanten Verbesserung aller Scores, außer dem der Subdomäne NCIQ 3. Dies umfasst insbesondere einen signifikanten Zugewinn in den

Kategorien der psychischen und sozialen Funktionsfähigkeit (NCIQ 4 = Selbstwertgefühl, NCIQ 5 = Aktivität und NCIQ 6 = soziale Interaktionen). Der anhand des NCIQ-Gesamtwertes gemessene zusätzliche Nutzen auf die krankheitsspezifische Lebensqualität war in der hier dargestellten Studie mit 9,2 Punkten etwas größer als bei Olze et. al mit 5,9 Punkten.

In einer Studie von Rader et al. (2018) zeigte sich nach bilateraler Implantation mit 77,8 Punkten der höchste NCIQ-Gesamtwert aller dargestellten Studien und mit einem Zugewinn durch das zweite CI von 14,9 Punkten ebenfalls der größte Einfluss auf die Lebensqualität (70). Es kam zu signifikanten Verbesserungen aller NCIQ-Subdomänen. Erstaunlicherweise verzeichnete bei Rader et al. die Sprach- und Lautproduktion (NCIQ 3) die größte Zunahme aller Subdomänen, während der NCIQ3-Zugewinn bei den oben genannten Studien am geringsten bzw. nicht signifikant war.

Andererseits sind in der Literatur auch Studien beschrieben, bei denen es zu keiner Verbesserung der Lebensqualität nach bilateraler CI-Versorgung kam (67, 68). Dabei fallen zwei Aspekte auf, die den konträren Resultaten möglicherweise zugrunde liegen. Erstens verwendeten diese Studien zur Messung der Lebensqualität ausschließlich generische Fragebögen (z.B. den EuroQol-5D oder den Health Utilities Index-3) und zweitens stellten die Autoren in ihrer Patientenkohorte jeweils eine Zunahme der Tinnitusbeschwerden fest, was sich vermutlich negativ auf die Lebensqualität ausgewirkt hat.

Die Zusammenschau der Studien legt nahe, dass die durch das erste CI bereits deutlich verbesserte Lebensqualität im Rahmen der bilateralen Versorgung weiter gesteigert werden kann. Man erkennt dabei, dass sich der überraschend große Zugewinn an HRQoL nach der bilateralen CI-Versorgung nicht allein mit den Ergebnissen im FE erklären lässt. Während das Sprachverstehen im FE nach der ersten Operation stark anstieg, kam es nach der zweiten Operation nur zu einer geringen Zunahme. Vielmehr scheint auch das verbesserte binaurale Hören, gemessen mit den eingeführten OLSA-Variationen, eine wichtige Rolle zu spielen. Diese Hypothese wird dadurch unterstützt, dass sich der OI nach der bilateralen Implantation nochmals signifikant in 2 Unterkategorien verbesserte, während es zu keinen wesentlichen Veränderungen der psychischen Komorbiditäten kam. Dies spricht dafür, dass das Hören durchaus für die HRQoL-Verbesserung mitverantwortlich ist. Darüber hinaus weisen die signifikanten Verbesserungen der Kategorien NCIQ 4, NCIQ 5 und NCIQ 6 darauf hin, dass neben dem Hören auch die durch das zweite CI weiter gesteigerte psychische und soziale Funktionsfähigkeit zur Zunahme der HRQoL geführt hat.

5.2.2 SF-36

Mit dem SF-36 setzten wir das in klinischen Studien am häufigsten genutzte Instrument zur Bestimmung der patient-reported outcomes (PRO) ein (123). Seine Validität bei der Erfassung der generischen Lebensqualität ist mehrfach belegt (123-125). Allerdings ist die Aussagekraft des SF-36 bei der Beurteilung der Lebensqualität von Patienten mit einer Hörbehinderung aufgrund mangelnder Sensitivität reduziert (122, 126). Der SF-36 zeigte keine signifikanten Verbesserungen der Lebensqualität. Es kam lediglich zu signifikanten Abnahmen der körperlichen Summenskala (KSS) nach der ersten Operation und der körperlichen Funktionsfähigkeit nach der zweiten Operation.

Olze et al. (2012) untersuchten die Lebensqualität von unilateral implantierten Patienten u.a. mit Hilfe des SF-36 (127). Die Einteilung der Patienten in zwei Gruppen erfolgte anhand ihres Alters, wobei der Grenzwert mit 70 Jahren festgelegt wurde. Nach der Implantation verzeichneten beide Gruppen ähnliche Verbesserungen in den psychischen Domänen. Unterschiede traten jedoch vor allem in den physischen Domänen auf. Während sich die Werte der jüngeren Patienten nach der Operation kaum veränderten, erfuhren die älteren Patienten eine signifikante Verschlechterung, was aufgrund des progressiven Abbaus körperlicher Funktionen im Alter kaum überrascht. Auch in der Studie von Hirschfelder et al. (2008) war eine ähnliche Tendenz zu erkennen (65). Nach der unilateralen Implantation reduzierte sich der Wert der körperlichen Summenskala (KSS) signifikant, wohingegen eine hochsignifikante Verbesserung der psychischen Summenskala (PSS) zu erkennen war.

In der vorliegenden Studie konnte diese Tendenz nur partiell bestätigt werden. Die postoperative Abnahme der KSS war nach der ersten Operation signifikant und lässt sich durch das zunehmende Alter der Patienten erklären. Für die PSS ergab sich eine leichte Verbesserung nach der ersten Implantation und eine geringe Verschlechterung nach der zweiten Implantation, jeweils nicht signifikant. Die unterschiedlichen Ergebnisse sind vermutlich auf einen Mangel an Sensitivität des SF-36 zur Beurteilung der HRQoL bei CI-Patienten zurückzuführen, was in der Literatur bereits mehrfach beschrieben wurde (65, 127).

Insgesamt bestätigt die vorliegende Studie die variablen Ergebnisse des SF-36 nach CI-Versorgung. Auf Grundlage dessen und der Erkenntnisse aus anderen Studien liegt die Vermutung nahe, dass der SF-36 kein optimales Instrument zur Bestimmung der Lebensqualität bei CI-Patienten darstellt. Aus diesem Grund sollte neben dem SF-36 möglichst auch ein krankheitsspezifisches Messinstrument, wie z.B. der NCIQ, angewandt werden.

5.3 Veränderung der Tinnitusbelastung

5.3.1 Tinnitus-Fragebogen (TF)

Mit dem TF nach Goebel und Hiller wählten wir eine validierte und angesehene Methode zur Messung der Tinnitusbelastung (128). Allerdings sollte beachtet werden, dass dieser Fragebogen für Patienten mit Tinnitus und nicht im Speziellen für Schwerhörige bzw. CI-Kandidaten mit Tinnitus entwickelt wurde (72).

Neben der Abnahme der Tinnitusprävalenz kam es nach der ersten Operation auch zu einer Reduktion der Tinnitusbeschwerden im TF. Sowohl der TF-Gesamtwert als auch vier von sechs Subskalen verbesserten sich signifikant. Die zweite Implantation wirkte sich nur marginal auf die Prävalenz aus, wobei die einzelnen TF-Skalen ebenfalls keine signifikanten Veränderungen aufwiesen.

Die Prävalenz von Tinnitus bei Patienten mit hochgradiger Schwerhörigkeit ist deutlich höher als in der Normalbevölkerung und wird für CI-Kandidaten je nach Studie zwischen 42 und 100% angegeben, wobei Baguley et al. einen durchschnittlichen Wert von ca. 80% ermittelten (71, 74). Mit einer präoperativen Tinnitusprävalenz von 73% ordnet sich die vorliegende Studie gut in die bereits in der Literatur beschriebenen Ergebnisse ein. Mehrere Studien bzw. Reviews berichteten über eine Abnahme der Prävalenz unterschiedlichen Ausmaßes nach CI-Versorgung (69, 71, 75). Die retrospektive Studie unserer eigenen Arbeitsgruppe um Olze et al. (2012) gab nach der ersten Operation eine Tinnitusprävalenz von 55% an, welche nach der zweiten Operation auf 42,5% sank (69). Ähnliche Ergebnisse fanden sich in der vorliegenden Arbeit, wobei hier die Prävalenz nach der zweiten Operation leicht von 50% auf 55% anstieg.

Neben der Erfassung der Prävalenz spielt die Verlaufsbeobachtung der Tinnitusymptomatik eine entscheidende Rolle, wofür wir in der Studie den Tinnitus-Fragebogen (TF) nach Goebel und Hiller verwendeten. Während der Nutzen der unilateralen CI-Versorgung auf den Tinnitus mittlerweile mehrfach beschrieben ist, besteht weiterhin ein Mangel an Studien, die den potentiellen Nutzen des zweiten CIs untersucht haben (siehe Kapitel 1.4.3).

In dem bereits beschriebenen Review von Ramakers et al. (2015) erfüllten zehn Studien die Einschlusskriterien (72). Dabei fiel auf, dass je nach Studie unterschiedliche Instrumente zur Messung der Tinnitusymptomatik verwendet wurden. Einzig in der Studie von Olze et al. (2012)

kam der TF zum Einsatz, während die anderen Studien u. a. den THI, die Visuelle Analogskala (VAS) für Lautheit bzw. Beeinträchtigung oder den 10-Q als Fragebogen nutzten. Die Variabilität der eingesetzten Messinstrumente zeigt, dass es bisher keinen gemeinhin akzeptierten Fragebogen zur Beurteilung des Nutzens der CI-Versorgung auf den Tinnitus gibt, was den Vergleich zwischen verschiedenen Studien erschwert.

Die Studie von Knopke et al. (2017) erlaubt einen Vergleich der Tinnitusbelastung nach unilateraler Implantation mittels TF, hat jedoch keine Daten nach bilateraler Implantation erhoben (107). Präoperativ lag der TF-Gesamtwert bei durchschnittlich 35,0 und verbesserte sich bereits sechs Monate nach CI-Anpassung signifikant auf 27,5 Punkte. Die Auswertung der TF-Subskalen ergab signifikante Abnahmen der Domänen „Penetranz des Tinnitus (I)“ und „Schlafstörungen (SI)“. Im weiteren Verlauf blieben die einzelnen Werte auf einem konstanten Niveau, wobei es nach zwölf und 24 Monaten zusätzlich zu einer signifikanten Reduktion der „Emotionalen und kognitiven Belastung (E + C)“ kam. In der vorliegenden Studie war die Tinnitusbelastung präoperativ mit 27,0 Punkten etwas geringer als bei Knopke et al. und verbesserte sich nach der ersten Operation ebenfalls signifikant auf 14,4. Neben den bei Knopke et al. beschriebenen Verbesserungen trat zudem eine signifikante Reduktion der „Hörprobleme (A)“ ein. Abgesehen davon decken sich die Ergebnisse beider Studien überwiegend.

In der bereits in 1.4.2 und 1.4.3 dargestellten Studie von Summerfield et al. (2006) wurde mit zwei CIs eine im Vergleich zur unilateralen Hörsituation erhöhte Tinnitusbelastung gemessen (68). Bei 16 von 24 Patienten bestand vor der zweiten Operation ein Tinnitus (67%). Nach der zweiten Operation verschlechterte sich dieser bei sieben Patienten und vier Patienten berichteten über einen neu aufgetretenen Tinnitus. In der vorliegenden Arbeit kam es nach bilateraler CI-Versorgung ebenfalls bei sechs Patienten zu einer erhöhten Tinnitusbelastung im TF. Die durchschnittliche Zunahme im Vergleich zur Situation mit einem CI war bei diesen Patienten mit 4,7 Punkten jedoch sehr gering und wurde durch eine Verbesserung bei den restlichen von Tinnitus betroffenen Patienten ausgeglichen, sodass insgesamt eine nicht signifikante Reduktion des TF-Gesamtwertes von 3,4 Punkten beobachtet wurde.

Bei der retrospektiven Studie von Olze et al. (2012) wurden, wie in der vorliegenden Arbeit, ausschließlich Daten von Patienten ausgewertet, welche präoperativ über Tinnitus berichteten. Dabei fanden sich nach der ersten Operation signifikante Verbesserungen aller TF-Subskalen sowie des TF-Gesamtwertes (69). Nach der zweiten Operation kam es lediglich in den beiden Subdomänen „E+C“ und „A“ zu weiteren signifikanten Verbesserungen. Bei genauerer Analyse

der Daten konnte unsere CI-Arbeitsgruppe einen Zusammenhang zwischen dem Schweregrad des Tinnitus und dem Nutzen einer CI-Therapie herstellen. Demnach profitierten Patienten mit dekompensiertem Tinnitus besonders stark von der ersten und kaum von der zweiten Operation, während Patienten mit kompensiertem Tinnitus sowohl nach der ersten als auch der zweiten CI-Versorgung signifikante Verbesserungen der Tinnitusbelastung erreichten. Aufgrund der geringen Zahl an Patienten mit dekompensiertem Tinnitus wurde eine solche Analyse in der vorliegenden Studie nicht durchgeführt. Dennoch sollte dieser Ansatz in weiteren, größer angelegten Studien untersucht werden.

Eine Abnahme der Tinnitusbelastung nach unilateraler Implantation wurde sowohl durch die aufgeführten Studien als auch unsere Arbeit bestätigt. Jedoch ist das Ausmaß des Nutzens eines CIs auf den Tinnitus sehr individuell, was u.a. zu gewissen Unterschieden der TF-Ergebnisse und Prävalenzangaben zwischen den einzelnen Studien führt. Die Ergebnisse der wenigen Studien zum potentiellen Nutzen des zweiten CIs sind divers. In der vorliegenden Arbeit wurden zwar Verbesserungen aller TF-Subskalen beobachtet, jedoch war keine davon signifikant. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die nach der ersten Implantation signifikant verringerte Tinnitusbelastung nach der zweiten Implantation konstant zu bleiben scheint. Aufgrund der knappen Datenlage empfiehlt sich für zukünftige Studien, ein verstärktes Augenmerk auf die Evaluation der Tinnitusbelastung nach bilateraler CI-Versorgung zu legen. Außerdem sollte beachtet werden, dass es im Einzelfall zur Verschlechterung eines bestehenden Tinnitus oder zum Neuauftreten durch die Operation kommen kann.

5.4 Veränderung der psychischen Komorbiditäten

In der vorliegenden Arbeit orientierten wir uns an der Empfehlung zur Anwendung von Messinstrumenten, die den Verlauf psychischer Komorbiditäten bei CI-Patienten erfassen (126). Als validierte Fragebögen setzten wir den PSQ zur Beurteilung der individuellen Stressbelastung und den Brief-COPE zur Messung von Problembewältigungsstrategien ein. Aufgrund des gehäufteten Auftretens von Angst- und affektiven Störungen bei CI-Kandidaten entschlossen wir uns außerdem für den Einsatz zweier weiterer Selbstbeurteilungsinstrumente. Mit dem GAD-7 zur Diagnostik und Schweregradeinteilung einer generalisierten Angststörung und der ADS-L zur

Beurteilung einer Depression nutzten wir Fragebögen, die sowohl zeiteffizient sind als auch eine hohe interne Konsistenz aufweisen (95, 103).

5.4.1 PSQ

Der PSQ zeigte zu den untersuchten Zeitpunkten keine signifikanten Verbesserungen der individuellen Stressbelastung. Präoperativ lag der PSQ-Gesamtwert bei 0,29 Punkten und damit unter dem für gesunde Erwachsene ermittelten Durchschnittswert von 0,33 Punkten (89). Trotz des eingeschränkten Hörvermögens scheinen demnach die CI-Kandidaten in der vorliegenden Studie kein erhöhtes Stressempfinden aufzuweisen. Dies erklärt auch, warum sich das gemessene Stressniveau mit 0,28 Punkten nach der ersten bzw. 0,3 Punkten nach der zweiten Operation kaum verändert hat.

Die Studie von Brüggemann et al. (2017) unterstützt im Wesentlichen die PSQ-Ergebnisse der dargestellten Arbeit (78). Der Autor und seine Arbeitsgruppe untersuchten den Einfluss einer unilateralen CI-Versorgung auf psychische Komorbiditäten bei 47 bilateral ertaubten Patienten. Dabei konnten keine signifikanten Veränderungen des PSQ-Gesamtwertes und der PSQ-Subkategorien beobachtet werden. Auch das präoperativ gemessene Stressempfinden zeigte sich mit 0,34 Punkten im Vergleich zur Normalbevölkerung nur marginal erhöht.

Andererseits sind in der Literatur auch einige Studien beschrieben, die über eine postoperative Stressreduktion berichtet haben (76, 77). Bei genauerer Betrachtung fiel auf, dass das präoperative Stressniveau in diesen Studien im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit erhöht war. Deshalb liegt die Vermutung nahe, dass der Nutzen der CI-Versorgung auf das Stressempfinden von der präoperativen Stressbelastung beeinflusst wird. Ist die Stressbelastung präoperativ erhöht, kann eine Reduktion durch das CI erzielt werden. Bei Patienten ohne erhöhte Stressbelastung ist hingegen keine Beeinflussung des Stressniveaus durch das CI zu erwarten.

5.4.2 Brief-COPE

Nach der ersten Operation zeigte eine der vier erfassten Coping-Fähigkeiten eine signifikante Verbesserung („active coping“). Außerdem wurden nach der zweiten Operation signifikante

Verbesserungen für „seeking support“ und „focus on positive“ sowie eine signifikante Verschlechterung für „evasive coping“ festgestellt.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch die Studie von Kobosko et al. (2012), bei der 78 postlingual ertaubte Patienten mittels Brief-COPE untersucht wurden (129). Diese wandten nach der Implantation signifikant weniger „active coping“ und mehr „evasive coping“ an. Bei Brüggemann et al. war im Brief-COPE insgesamt eine Abnahme der eingesetzten Bewältigungsstrategien nach CI-Versorgung zu beobachten (78). Die Patienten mussten also weniger Anstrengungen aufwenden, um eine Situation zu bewältigen. Patienten, bei denen hingegen keine psychische Erkrankung vorlag, zeigten beim Vergleich der prä- und postoperativen Werte keine signifikanten Veränderungen im Brief-COPE.

Insgesamt führte die bilaterale CI-Versorgung in der vorliegenden Studie trotz der im PSQ unauffälligen Stressbelastung zu einem reduzierten Anwenden von Bewältigungsstrategien, was einer signifikanten Verbesserung entspricht.

5.4.3 ADS-L

Die mithilfe der ADS-L gemessene Depressionssymptomatik lag zu jedem erhobenen Zeitpunkt im Normbereich. In der untersuchten Patientenkohorte konnte demnach kein erhöhtes Auftreten depressiver Erkrankungen beobachtet werden. Entgegen der Erwartung eines erhöhten ADS-L-Gesamtwertes aufgrund der potentiellen Auswirkungen eines ausgeprägten bilateralen Hörverlustes, fand sich in dieser Studie ein durchschnittlicher präoperativer Wert ($12,32 \pm 9,45$), der geringer ausfiel als der für Allgemeinbevölkerung ermittelte Wert ($14,3 \pm 9,7$) (102).

Brüggemann et al. (2017) führten die ADS-L ebenfalls bei einer Gruppe von bilateral ertaubten Patienten durch und verzeichneten eine signifikante Verbesserung der depressiven Symptomatik nach CI-Versorgung (78). Dabei zeigte sich vor der CI-Operation ein insgesamt leicht erhöhter ADS-L-Gesamtwert ($17,93 \pm 10,84$), der postoperativ signifikant auf $14,4 \pm 9,24$ sank und somit das Niveau der Allgemeinbevölkerung erreichte.

Bei Knopke et al. (2016) wurden 17 bilateral ertaubte Patienten, die 80 Jahre oder älter waren, unilateral mit einem CI versorgt (130). Die dabei zur Evaluation depressiver Symptome eingesetzte ADS-L ergab keine signifikanten Veränderungen nach der Implantation. Der Gesamtwert lag sowohl vor ($16,5 \pm 12,6$) als auch nach der Operation ($15,3 \pm 6,0$) im Normbereich.

Alle dargestellten Studien befinden sich somit deutlich unter dem Grenzwert von 23 Punkten, ab dem von einer manifesten Depression ausgegangen werden kann. Da sich unsere CI-Kandidaten in Bezug auf Depressivität als gesund erwiesen, war weder der genaue Einfluss der unilateralen noch der bilateralen CI-Versorgung auf eine mögliche Verbesserung der depressiven Symptomatik zu bestimmen.

5.4.4 GAD-7

Der zur Diagnostik und Schweregradeinteilung einer generalisierten Angststörung eingesetzte GAD-7 ergab Werte, die gegen eine gesteigerte Angstsymptomatik der Patienten sprechen. Da sich die prä- und postoperativen Gesamtwerte nur geringfügig voneinander unterscheiden, kann über den Beobachtungszeitraum von einer affektiven Stabilität innerhalb der Patientenkohorte ausgegangen werden.

Beim Vergleich der präoperativen Ergebnisse mit anderen Studien fiel auf, dass einige Arbeiten über eine ausgeprägtere Angstsymptomatik berichteten. Zirke et al. (2013) fanden bei einer Gruppe von Patienten, die an Schwerhörigkeit und chronischem Tinnitus litten, einen durchschnittlichen Wert von 6,9 Punkten im GAD-7, was einer milden Angststörung entspricht (131). Auch bei Brüggemann et al. lag mit 5,64 Punkten ein erhöhter Wert vor (78). Verantwortlich für die erhöhte psychische Belastung dieser Patienten war laut Autoren das Zusammenspiel von psychischen Komorbiditäten, Schwerhörigkeit und Tinnitusbelastung (78, 131). Eine geringere Ausprägung einer dieser Faktoren (z.B. der Tinnitusprävalenz) könnte in der vorliegenden Studie zu den im Vergleich niedrigeren GAD-7-Werten geführt haben.

Darüber hinaus wurde bereits in mehreren Studien eine signifikante Reduktion der Angstsymptomatik nach CI-Versorgung beschrieben (76, 78, 104). Der Einfluss des CIs ist dabei ähnlich zu bewerten wie bei den anderen bereits dargestellten psychischen Komorbiditäten. Liegt präoperativ eine erhöhte Belastung vor, so kann durch die Implantation eine Verbesserung der Symptomatik erzielt werden. Ist der präoperative Befund wie in der vorliegenden Arbeit jedoch unauffällig, lässt sich keine wesentliche Beeinflussung der Angstsymptomatik durch das Einsetzen der CIs beobachten.

5.5 Stärken und Limitationen

Zu den Stärken der vorliegenden Arbeit zählt das prospektive Studiendesign. Einige Studien, die im Rahmen der Diskussion zum Vergleich der Ergebnisse mit der vorliegenden Studie herangezogen wurden, verwendeten einen retrospektiven Ansatz. Dies birgt jedoch die Gefahr einer Erinnerungsverzerrung (Recall Bias), da sich die Patienten unter dem Eindruck des neu implantierten CIs nicht mehr detailgetreu an die präoperative Situation erinnern können und diese möglicherweise negativer einschätzen. Um diese Fehlerquelle zu vermeiden, führten wir die erste Patientenbefragung bereits präoperativ durch. Zusätzlich gewährleistet das prospektive Studiendesign einen ausreichenden zeitlichen Abstand zwischen prä- und postoperativer Datenerhebung, sodass eine gegenseitige Beeinflussung durch Beantwortung derselben Fragebögen innerhalb von kurzer Zeit ausgeschlossen werden kann.

Andererseits erfolgte in unserer Arbeit keine Randomisierung der Patienten in Kontrollgruppen, was als Limitation anzusehen ist. Vor allem bei neuen und teuren Behandlungsmethoden wie z.B. der CI-Versorgung können die Ergebnisse durch die großen Hoffnungen und Erwartungen der Patienten beeinflusst werden. Randomisiert kontrollierte Studien (RCTs) sind in der Lage dies zu detektieren und gelten u.a. deshalb als Goldstandard in der evidenzbasierten Medizin. Die Durchführung von RCTs in der klinischen CI-Forschung wird jedoch als schwierig angesehen. Dies liegt vor allem daran, dass eine Behandlung mit CIs anderen alternativen Behandlungsmethoden klar überlegen ist (104). Für die in der Literatur diskutierte Frage, ob bei bilateraler CI-Versorgung eher die sequentielle oder die simultane Implantation bevorzugt werden sollte, gilt dies aber nicht. Hier kann der Einsatz von RCTs in Zukunft dabei helfen, weitere Erkenntnisse zur Beantwortung dieser Frage zu liefern.

Eine weitere Stärke liegt in der Homogenität der Patientenkohorte begründet, da aufgrund der Einschlusskriterien ausschließlich Daten von postlingual bilateral ertaubten Erwachsenen erhoben wurden. Zusätzlich haben die Studienpatienten gemein, dass sie alle an derselben Klinik (CVK) eine sequentielle bilaterale CI-Versorgung erhielten. Die Untersuchung homogener Kohorten ist im Hinblick auf die erweiterten CI-Indikationsbereiche (z.B. für SSD-, AHL- oder DSD-Patienten) von besonderer Bedeutung, um den tatsächlichen Nutzen der CI-Versorgung auf diese Subgruppen gesondert analysieren zu können. In der vorliegenden Studie konnten wir auf diese Weise gezielt Erkenntnisse für eine homogene Kohorte von DSD-Patienten gewinnen.

Bei genauerer Betrachtung der Patientenkohorte fällt auf, dass die Zahl der Studienteilnehmer mit $n=22$ eher gering ausfiel. So lassen sich die asymmetrischen Ergebnisse beim Squelch-Effekt

vermutlich auf die relativ kleine Studienpopulation zurückführen. Um die Aussagekraft zukünftiger Studien zu erhöhen, empfiehlt sich daher die Rekrutierung einer größeren Zahl an Patienten. Des Weiteren zeigte sich die durchschnittliche Ertaubungsdauer von 21,45 Jahren mit einer SD von 17,21 Jahren sehr variabel. Dies ist von Bedeutung, da die präoperative Ertaubungsdauer einen Einfluss auf den Erfolg der CI-Therapie hat (65, 132). In der vorliegenden Studie wurde die Dauer der Ertaubung bei der Gesamtauswertung nicht für jeden Patienten einzeln berücksichtigt, was eine weitere Beeinflussung der Ergebnisse möglich macht. Zu beachten gilt außerdem, dass das Intervall zwischen erster und zweiter Implantation mit mindestens sechs und maximal 55 Monaten in der vorliegenden Patientenkohorte eine große Spannweite aufweist. Durch die unterschiedlich langen Rehabilitationsphasen der einzelnen Patienten ergibt sich eine gewisse Messunschärfe.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit präsentiert die Ergebnisse einer prospektiven Studie, die den zusätzlichen Nutzen einer bilateralen CI-Versorgung untersucht. Sowohl das Sprachverstehen in Ruhe als auch das Sprachverstehen im Störgeräusch verbesserten sich nach der zweiten Operation signifikant. Zusätzlich waren die Patienten in der Lage zwei der drei Effekte des binauralen Hörens zu nutzen (Summations- und Kopfschatteneffekt). Neben den Verbesserungen in der Sprachaudiometrie erzielten sie auch einen Zugewinn der krankheitsspezifischen Lebensqualität. Die Tinnitusbelastung nahm nach der ersten Operation stark ab und blieb im Anschluss an die zweite Operation konstant. Der Einfluss auf psychische Komorbiditäten war für die Anwendung von Copingstrategien nachweisbar. Wesentliche Unterschiede zwischen dem erst- und dem zweitimplantierten CI in Bezug auf den Benefit im Sprachverstehen konnten nicht nachgewiesen werden.

Der Erfolg einer CI-Versorgung wurde früher vor allem anhand der Ergebnisse in den sprachaudiometrischen Untersuchungen beurteilt. Dies hat sich in den letzten Jahren stark gewandelt. Heutzutage nimmt die Evaluation der gesundheitsbezogenen Lebensqualität ebenfalls eine zentrale Rolle innerhalb der CI-Forschung ein. Betrachtet man die Ergebnisse der vorliegenden Studie in diesem Kontext, so fällt auf, dass die bilaterale CI-Versorgung der DSD-Patienten zu einem überraschend großen Zugewinn an HRQoL geführt hat. Dieser Zugewinn scheint neben den hörspezifischen Aspekten auch durch eine signifikante Verbesserung der psychischen und sozialen Funktionsfähigkeit bedingt zu sein. Alltägliche Hörsituationen können darüber hinaus durch die Verwendung von komplexeren Hörtests wie dem OLSA und dessen eingeführten Variationen besser beurteilt werden. Vor allem in anspruchsvollen Hörsituationen erzielten die DSD-Patienten durch das zweite CI Verbesserungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die bilaterale CI-Versorgung eine effektive Möglichkeit der Hörrehabilitation für DSD-Patienten darstellt und sie in vielen Bereichen von einem zweiten CI profitieren.

7. Literaturverzeichnis

1. World Health Organization. Report of the Informal Working Group on Prevention of Deafness and Hearing Impairment Programme Planning, Geneva, 18-21 June 1991. Geneva: World Health Organization; 1991.
2. Vincent C, Arndt S, Firszt JB, Frayssé B, Kitterick PT, Papsin BC, Snik A, Van de Heyning P, Deguine O, Marx M. Identification and evaluation of cochlear implant candidates with asymmetrical hearing loss. *Audiology & neuro-otology*. 2015;20 Suppl 1:87-9.
3. Arndt S, Laszig R, Aschendorff A, Hassepass F, Beck R, Wesarg T. Cochleaimplantatversorgung bei einseitiger Taubheit oder asymmetrischem Hörverlust. *Hno*. 2017;65(7):586-98.
4. Schulze A, Zahnert T. Differenzialdiagnostik der Hörstörungen. *Laryngo-Rhino-Otol*. 2014;93(10):689-715.
5. Sohn W, Jörgenshaus W. Schwerhörigkeit in Deutschland. Repräsentative Hörscreening-Untersuchung bei 2000 Probanden in 11 Allgemeinpraxen. *Zeitschrift für Allgemeinmedizin*. 2001;77(3):143-7.
6. Statistisches Bundesamt. Statistik der schwerbehinderten Menschen [Internet]. 2018 [cited 2020 March 26]. Available from: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Behinderte-Menschen/Publikationen/Downloads-Behinderte-Menschen/sozial-schwerbehinderte-kb-5227101179004.pdf?__blob=publicationFile.
7. World Health Organization. Deafness and hearing loss [Internet]. 2018 [cited 2018 July 31]. Available from: <http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>.
8. Lin FR, Thorpe R, Gordon-Salant S, Ferrucci L. Hearing Loss Prevalence and Risk Factors Among Older Adults in the United States. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2011;66A(5):582-90.
9. Huang Q, Tang J. Age-related hearing loss or presbycusis. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*. 2010;267(8):1179-91.
10. Acar B, Yurekli MF, Babademez MA, Karabulut H, Karasen RM. Effects of hearing aids on cognitive functions and depressive signs in elderly people. *Archives of gerontology and geriatrics*. 2011;52(3):250-2.
11. Niemensivu R, Manchaiah V, Roine RP, Kentala E, Sintonen H. Health-related quality of life in adults with hearing impairment before and after hearing-aid rehabilitation in Finland. *International journal of audiology*. 2015;54(12):967-75.
12. Baguley D, McFerran D, Hall D. Tinnitus. *The Lancet*. 2013;382(9904):1600-7.
13. Adrian D, El Refaie A. The epidemiology of tinnitus. *The Handbook of Tinnitus: Singular*; 2000. p. 1-23.
14. Nondahl DM, Cruickshanks KJ, Huang GH, Klein BE, Klein R, Nieto FJ, Tweed TS. Tinnitus and its risk factors in the Beaver Dam offspring study. *International journal of audiology*. 2011;50(5):313-20.
15. Ferreira LMdB, Ramos AN, Mendes EP. Characterization of tinnitus in the elderly and its possible related disorders. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. 2009;75(2):249-55.
16. Andersson G, Freijd A, Baguley DM, Idrizbegovic E. Tinnitus distress, anxiety, depression, and hearing problems among cochlear implant patients with tinnitus. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2009;20(5):315-9.

17. Mazurek B, Olze H, Haupt H, Szczepek AJ. The more the worse: the grade of noise-induced hearing loss associates with the severity of tinnitus. *International journal of environmental research and public health*. 2010;7(8):3071-9.
18. Bruggemann P, Szczepek AJ, Rose M, McKenna L, Olze H, Mazurek B. Impact of Multiple Factors on the Degree of Tinnitus Distress. *Frontiers in human neuroscience*. 2016;10:341.
19. Uhlmann RF, Larson EB, Rees TS, Koepsell TD, Duckert LG. Relationship of hearing impairment to dementia and cognitive dysfunction in older adults. *Jama*. 1989;261(13):1916-9.
20. Lin FR, Metter E, O'Brien RJ, Resnick SM, Zonderman AB, Ferrucci L. Hearing loss and incident dementia. *Archives of Neurology*. 2011;68(2):214-20.
21. Deal JA, Albert MS, Arnold M, Bangdiwala SI, Chisolm T, Davis S, Eddins A, Glynn NW, Goman AM, Minotti M, Mosley T, Rebok GW, Reed N, Rodgers E, Sanchez V, Sharrett AR, Coresh J, Lin FR. A randomized feasibility pilot trial of hearing treatment for reducing cognitive decline: Results from the Aging and Cognitive Health Evaluation in Elders Pilot Study. *Alzheimer's & dementia (New York, N Y)*. 2017;3(3):410-5.
22. Lin FR, Yaffe K, Xia J, Xue QL, Harris TB, Purchase-Helzner E, Satterfield S, Ayonayon HN, Ferrucci L, Simonsick EM. Hearing loss and cognitive decline in older adults. *JAMA Intern Med*. 2013;173(4):293-9.
23. Gallacher J, Ilubaera V, Ben-Shlomo Y, Bayer A, Fish M, Babisch W, Elwood P. Auditory threshold, phonologic demand, and incident dementia. *Neurology*. 2012;79(15):1583-90.
24. Steffens T. Bilaterale CI-Versorgung heute. *Cochlear Implant heute*: Springer; 2009. p. 53-61.
25. Diensthuber M, Stöver T. Strategies for a regenerative therapy of hearing loss. *Hno*. 2018;66(1):39-46.
26. Mazurek B, Stöver T, Haupt H, Gross J, Szczepek A. Die Entstehung und Behandlung der Presbyakusis. *Hno*. 2008;56(4):429-35.
27. Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V., Bonn. Implantierbare Hörgeräte [Internet]. Leitlinie 12/2017 [cited 2018 Sep 22]. Available from: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/017-073l_Implantierbare-Hoergeraete_2018-06.pdf.
28. Lenarz T. Cochleaimplantat heute. *Hno*. 2017;65(4):274-5.
29. Mühler R, Ziese M. Technischer Leitfaden Cochlea Implantat [Internet]. Universitäts-HNO-Klinik Magdeburg; 2010 [cited 2018 Sep 12]. Available from: https://www.med.uni-magdeburg.de/unimagdeburg_mm/Bilder/Kliniken/KHNO/cochlear+implant/technik_leitfaden+cochlear+implant-p-8859.pdf.
30. Zahnert T, Murbe D. Cochlear Implants in Children and Adults. *Laryngo- rhinotologie*. 2017;96(6):396-419.
31. Lenarz T. Cochlear implant - state of the art. *GMS current topics in otorhinolaryngology, head and neck surgery*. 2017;16:123-51.
32. Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e. V., Bonn. Cochlea-Implantat Versorgung einschließlich zentral-auditorischer Implantate [Internet]. Leitlinie 05/2012 [cited 2018 Sep 13]. Available from: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/017-071l_S2k_Cochlea_Implant_Versorgung_2012-05-abgelaufen.pdf.
33. Alam-Eldeen M, Rashad U, Ali AH. Radiological requirements for surgical planning in cochlear implant candidates. *Indian Journal of Radiology and Imaging*. 2017;27(3):274-81.
34. Laszig R, Aschendorff A, Stecker M, Muller-Deile J, Maune S, Dillier N, Weber B, Hey M, Begall K, Lenarz T, Battmer RD, Bohm M, Steffens T, Strutz J, Linder T, Probst R, Allum J, Westhofen M, Doering W. Benefits of bilateral electrical stimulation with the nucleus cochlear

- implant in adults: 6-month postoperative results. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2004;25(6):958-68.
35. Müller J. Bilaterale Cochleaimplantatversorgung. *Hno*. 2017;65(7):561-70.
 36. Tyler RS, Dunn CC, Witt SA, Preece JP. Update on bilateral cochlear implantation. *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery*. 2003;11(5):388-93.
 37. Litovsky R, Parkinson A, Arcaroli J, Sammeth C. Simultaneous bilateral cochlear implantation in adults: a multicenter clinical study. *Ear and hearing*. 2006;27(6):714-31.
 38. Rama-Lopez J, Cervera-Paz FJ, Manrique M. Cochlear implantation of patients with far-advanced otosclerosis. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2006;27(2):153-8.
 39. Criteria of candidacy for unilateral cochlear implantation in postlingually deafened adults III: prospective evaluation of an actuarial approach to defining a criterion. *Ear and hearing*. 2004;25(4):361-74.
 40. Parkinson AJ, Arcaroli J, Staller SJ, Arndt PL, Cosgriff A, Ebinger K. The nucleus 24 contour cochlear implant system: adult clinical trial results. *Ear and hearing*. 2002;23(1 Suppl):41-8.
 41. Hirschfelder A, Gräbel S, Olze H. The impact of cochlear implantation on quality of life: The role of audiologic performance and variables. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*. 2008;138(3):357-62.
 42. van Schoonhoven J, Sparreboom M, van Zanten BG, Scholten RJ, Mylanus EA, Dreschler WA, Grolman W, Maat B. The effectiveness of bilateral cochlear implants for severe-to-profound deafness in adults: a systematic review. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2013;34(2):190-8.
 43. Muller J, Schon F, Helms J. Speech understanding in quiet and noise in bilateral users of the MED-EL COMBI 40/40+ cochlear implant system. *Ear and hearing*. 2002;23(3):198-206.
 44. van Hoesel RJ, Tyler RS. Speech perception, localization, and lateralization with bilateral cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2003;113(3):1617-30.
 45. Schleich P, Nopp P, D'Haese P. Head shadow, squelch, and summation effects in bilateral users of the MED-EL COMBI 40/40+ cochlear implant. *Ear and hearing*. 2004;25(3):197-204.
 46. Laszig R, Aschendorff A, Schipper J, Klenzner T. Aktuelle Entwicklung zum Cochlearimplantat. *Hno*. 2004;52(4):357-62.
 47. Gaylor JM, Raman G, Chung M, Lee J, Rao M, Lau J, Poe DS. Cochlear implantation in adults: a systematic review and meta-analysis. *JAMA otolaryngology-- head & neck surgery*. 2013;139(3):265-72.
 48. Morris LG, Mallur PS, Roland JT, Jr., Waltzman SB, Lalwani AK. Implication of central asymmetry in speech processing on selecting the ear for cochlear implantation. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2007;28(1):25-30.
 49. Roditi RE, Poissant SF, Bero EM, Lee DJ. A predictive model of cochlear implant performance in postlingually deafened adults. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2009;30(4):449-54.
 50. Budenz CL, Cosetti MK, Coelho DH, Birenbaum B, Babb J, Waltzman SB, Roehm PC. The effects of cochlear implantation on speech perception in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2011;59(3):446-53.

51. Palmer CS, Niparko JK, Wyatt JR, Rothman M, de Lissovoy G. A prospective study of the cost-utility of the multichannel cochlear implant. *Archives of otolaryngology--head & neck surgery*. 1999;125(11):1221-8.
52. Bai Z, Stephens D. Subjective Outcome Measures after Cochlear Implantation: Overall Measures. *Audiological Medicine*. 2005;3(4):212-9.
53. Crathorne L, Bond M, Cooper C, Elston J, Weiner G, Taylor R, Stein K. A systematic review of the effectiveness and cost-effectiveness of bilateral multichannel cochlear implants in adults with severe-to-profound hearing loss. *Clinical otolaryngology : official journal of ENT-UK ; official journal of Netherlands Society for Oto-Rhino-Laryngology & Cervico-Facial Surgery*. 2012;37(5):342-54.
54. Nopp P, Schleich P, D'Haese P. Sound localization in bilateral users of MED-EL COMBI 40/40+ cochlear implants. *Ear and hearing*. 2004;25(3):205-14.
55. Smulders YE, van Zon A, Stegeman I, Rinia AB, Van Zanten GA, Stokroos RJ, Hendrice N, Free RH, Maat B, Frijns JH, Briaire JJ, Mylanus EA, Huinck WJ, Smit AL, Topsakal V, Tange RA, Grolman W. Comparison of Bilateral and Unilateral Cochlear Implantation in Adults: A Randomized Clinical Trial. *JAMA otolaryngology-- head & neck surgery*. 2016;142(3):249-56.
56. van Zon A, Smulders YE, Stegeman I, Ramakers GG, Kraaijenga VJ, Koenraads SP, Zanten GA, Rinia AB, Stokroos RJ, Free RH, Frijns JH, Huinck WJ, Mylanus EA, Tange RA, Smit AL, Thomeer HG, Topsakal V, Grolman W. Stable benefits of bilateral over unilateral cochlear implantation after two years: A randomized controlled trial. *The Laryngoscope*. 2017;127(5):1161-8.
57. Seeber BU, Fastl H. Localization cues with bilateral cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2008;123(2):1030-42.
58. Aronoff JM, Yoon YS, Freed DJ, Vermiglio AJ, Pal I, Soli SD. The use of interaural time and level difference cues by bilateral cochlear implant users. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2010;127(3):87-92.
59. Laback B, Egger K, Majdak P. Perception and coding of interaural time differences with bilateral cochlear implants. *Hear Res*. 2015;322:138-50.
60. Buechel BD, Hancock KE, Chung Y, Delgutte B. Improved Neural Coding of ITD with Bilateral Cochlear Implants by Introducing Short Inter-pulse Intervals. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology : JARO*. 2018;19(6):681-702.
61. Litovsky RY, Goupell MJ, Godar S, Grieco-Calub T, Jones GL, Garadat SN, Agrawal S, Kan A, Todd A, Hess C, Misurelli S. Studies on bilateral cochlear implants at the University of Wisconsin's Binaural Hearing and Speech Laboratory. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2012;23(6):476-94.
62. Kraaijenga VJC, Smit AL, Ramakers GGJ, Stokroos RJ, van Zanten GA. No Squelch Effect After Sequential Bilateral Cochlear Implantation in Postlingually Deafened Adults: Is There a First Ear Advantage? *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2018;39(8):665-70.
63. Nahm EA, Liberatos P, Shi Q, Lai E, Kim AH. Quality of Life after Sequential Bilateral Cochlear Implantation: An Updated Comprehensive Cochlear Implant Questionnaire. *Otolaryngology--Head and Neck Surgery*. 2017;156(2):334-40.
64. Sladen DP, Peterson A, Schmitt M, Olund A, Teece K, Dowling B, DeJong M, Breneman A, Beatty CW, Carlson ML, Neff BA, Hughes-Borst B, Driscoll CL. Health-related quality of life outcomes following adult cochlear implantation: A prospective cohort study. *Cochlear Implants International*. 2017;18(3):130-5.
65. Hirschfelder A, Grabel S, Olze H. The impact of cochlear implantation on quality of life: the role of audiologic performance and variables. *Otolaryngology--head and neck surgery :*

- official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery. 2008;138(3):357-62.
66. Damen GWJA, Beynon AJ, Krabbe PFM, Mulder JJS, Mylanus EAM. Cochlear implantation and quality of life in postlingually deaf adults: Long-term follow-up. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 2007;136(4):597-604.
 67. Bond M, Mealing S, Anderson R, Elston J, Weiner G, Taylor RS, Hoyle M, Liu Z, Price A, Stein K. The effectiveness and cost-effectiveness of cochlear implants for severe to profound deafness in children and adults: a systematic review and economic model. *Health technology assessment (Winchester, England)*. 2009;13(44):1-330.
 68. Quentin Summerfield A, Barton GR, Toner J, McAnallen C, Proops D, Harries C, Cooper H, Court I, Gray R, Osborne J, Doran M, Ramsden R, Mawman D, O'Driscoll M, Graham J, Aleksy W, Meerton L, Verschure C, Ashcroft P, Pringle M. Self-reported benefits from successive bilateral cochlear implantation in post-lingually deafened adults: randomised controlled trial. *International journal of audiology*. 2006;45(sup1):99-107.
 69. Olze H, Grabel S, Haupt H, Forster U, Mazurek B. Extra benefit of a second cochlear implant with respect to health-related quality of life and tinnitus. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2012;33(7):1169-75.
 70. Rader T, Haerterich M, Ernst BP, Stöver T, Strieth S. Lebensqualität und Schwindel bei bilateraler Cochleaimplantation. *Hno*. 2018;66(3):219-28.
 71. Baguley DM, Atlas MD. Cochlear implants and tinnitus. *Progress in brain research*. 2007;166:347-55.
 72. Ramakers GG, van Zon A, Stegeman I, Grolman W. The effect of cochlear implantation on tinnitus in patients with bilateral hearing loss: A systematic review. *The Laryngoscope*. 2015;125(11):2584-92.
 73. van Zon A, Smulders YE, Ramakers GG, Stegeman I, Smit AL, Van Zanten GA, Stokroos RJ, Hendrice N, Free RH, Maat B, Frijns JH, Mylanus EA, Huinck WJ, Topsakal V, Tange RA, Grolman W. Effect of unilateral and simultaneous bilateral cochlear implantation on tinnitus: A Prospective Study. *The Laryngoscope*. 2016;126(4):956-61.
 74. Ramakers GGJ, Kraaijenga VJC, Smulders YE, van Zon A, Stegeman I, Stokroos RJ, Free RH, Frijns JHM, Huinck WJ, Van Zanten GA, Grolman W. Tinnitus after Simultaneous and Sequential Bilateral Cochlear Implantation. *Frontiers in surgery*. 2017;4:65.
 75. Quaranta N, Wagstaff S, Baguley DM. Tinnitus and cochlear implantation. *International journal of audiology*. 2004;43(5):245-51.
 76. Olze H, Szczepek AJ, Haupt H, Förster U, Zirke N, Gräbel S, Mazurek B. Cochlear implantation has a positive influence on quality of life, tinnitus, and psychological comorbidity. *The Laryngoscope*. 2011;121(10):2220-7.
 77. Olze H, Szczepek AJ, Haupt H, Zirke N, Graebel S, Mazurek B. The impact of cochlear implantation on tinnitus, stress and quality of life in postlingually deafened patients. *Audiology & neuro-otology*. 2012;17(1):2-11.
 78. Brüggemann P, Szczepek AJ, Klee K, Gräbel S, Mazurek B, Olze H. In Patients Undergoing Cochlear Implantation, Psychological Burden Affects Tinnitus and the Overall Outcome of Auditory Rehabilitation. *Frontiers in human neuroscience*. 2017;11(226).
 79. Hinderink JB, Krabbe PF, Van Den Broek P. Development and application of a health-related quality-of-life instrument for adults with cochlear implants: the Nijmegen cochlear implant questionnaire. *Otolaryngology-head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 2000;123(6):756-65.
 80. Ware JE, Sherbourne CD. The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36): I. Conceptual Framework and Item Selection. *Medical Care*. 1992;30(6):473-83.

81. Ware JE, Kosinski M, Bayliss MS, McHorney CA, Rogers WH, Raczek A. Comparison of Methods for the Scoring and Statistical Analysis of SF-36 Health Profile and Summary Measures: Summary of Results from the Medical Outcomes Study. *Medical Care*. 1995;33(4):264-79.
82. Ware JE, Kosinski M, Gandek B, Aaronson NK, Apolone G, Bech P, Brazier J, Bullinger M, Kaasa S, Leplège A, Prieto L, Sullivan M. The Factor Structure of the SF-36 Health Survey in 10 Countries: Results from the IQOLA Project. *Journal of Clinical Epidemiology*. 1998;51(11):1159-65.
83. Holube I, Kollmeier B. Ein Fragebogen zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens: Erstellung der Fragen und Beziehung zum Tonschwellenaudiogramm. 1991;30:48-64.
84. Holube I, Kollmeier B. Modifikation eines Fragebogens zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens und dessen Beziehung zur Sprachverständlichkeit in Ruhe und unter Störgeräuschen. 1994;33:22-35.
85. Hallam RS. TQ, Manual of the Tinnitus Questionnaire: Revised and Updated. London: Polpresa Press; 2009.
86. Goebel G, Hiller W. Tinnitus-Fragebogen (TF). Standardinstrument zur Graduierung des Tinnitussehewegrades. Ergebnisse einer Multicenterstudie mit dem Tinnitus-Fragebogen (TF). *HNO Hals-, Nasen-, Ohrenärzte*. 1994;42(3):166-72.
87. Goebel G, Hiller W. Tinnitus-Fragebogen (TF). Ein Instrument zur Erfassung von Belastung und Schweregrad bei Tinnitus ; Handanweisung: Hogrefe, Verlag für Psychologie; 1998.
88. Levenstein S, Prantera C, Varvo V, Scribano ML, Berto E, Luzi C, Andreoli A. Development of the perceived stress questionnaire: A new tool for psychosomatic research. *Journal of Psychosomatic Research*. 1993;37(1):19-32.
89. Fliege H, Rose M, Arck P, Walter OB, Kocalevent R-D, Weber C, Klapp BF. The Perceived Stress Questionnaire (PSQ) Reconsidered: Validation and Reference Values From Different Clinical and Healthy Adult Samples. *Psychosomatic Medicine*. 2005;67(1):78-88.
90. Kocalevent R-D, Levenstein S, Fliege H, Schmid G, Hinz A, Brähler E, Klapp BF. Contribution to the construct validity of the Perceived Stress Questionnaire from a population-based survey. *Journal of Psychosomatic Research*. 2007;63(1):71-81.
91. Carver CS, Scheier MF, Weintraub JK. Assessing coping strategies: a theoretically based approach. *Journal of personality and social psychology*. 1989;56(2):267-83.
92. Carver CS. You want to measure coping but your protocol' too long: Consider the brief cope. *International Journal of Behavioral Medicine*. 1997;4(1):92.
93. Weissman MM, Sholomskas D, Pottenger M, Prusoff BA, Locke BZ. Assessing depressive symptoms in five psychiatric populations: a validation study. *American journal of epidemiology*. 1977;106(3):203-14.
94. Radloff LS. The CES-D Scale: A Self-Report Depression Scale for Research in the General Population. *Applied Psychological Measurement*. 1977;1(3):385-401.
95. Hautzinger M, Bailer M. Allgemeine Depressions-Skala (ADS). Manual. Göttingen: Beltz-Test-GmbH; 1993.
96. Spitzer RL, Kroenke K, Williams JB, Lowe B. A brief measure for assessing generalized anxiety disorder: the GAD-7. *Archives of internal medicine*. 2006;166(10):1092-7.
97. Hahlbrock K-H. Über Sprachaudiometrie und neue Wörtertete. *Archiv für Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde*. 1953;162(5):394-431.
98. von Wedel H. Untersuchungen zum Freiburger Sprachtest–Vergleichbarkeit der Gruppen im Hinblick auf Diagnose und Rehabilitation (Hörgeräteanpassung und Hörtraining). *Audiol Akust*. 1986;2:60-73.

99. Kühnel V, Kollmeier B, Wagener K. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. *Zeitschrift Audiologie/Audiological Acoustics*. 1999;38:4–15.
100. Wagener K, Brand T, Kollmeier B. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache II: Optimierung des Oldenburger Satztests. *Zeitschrift Audiologie/Audiological Acoustics*. 1999;38:44-56.
101. Wagener K, Brand T, Kollmeier B. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache III: Evaluation des Oldenburger Satztests. *Zeitschrift Audiologie/Audiological Acoustics*. 1999;38:86-95.
102. Mohiyeddini C, Hautzinger M, Bauer S. Eine Latent-State-Trait-Analyse zur Bestimmung der dispositionellen und zustandsbedingten Anteile dreier Instrumente zur Erfassung von Depressionen: ADS, BDI und SDS. *Diagnostica*. 2002;48(1):12-8.
103. Lowe B, Decker O, Muller S, Brahler E, Schellberg D, Herzog W, Herzberg PY. Validation and standardization of the Generalized Anxiety Disorder Screener (GAD-7) in the general population. *Med Care*. 2008;46(3):266-74.
104. Mo B, Lindbæk M, Harris S. Cochlear Implants and Quality of Life: A Prospective Study 2005. 186-94 p.
105. Summerfield AQ, Marshall DH. Preoperative predictors of outcomes from cochlear implantation in adults: performance and quality of life. *The Annals of otology, rhinology & laryngology Supplement*. 1995;166:105-8.
106. Memmeler T, Schönweiler R, Wollenberg B, Löhler J. Die adaptive Messung des Freiburger Einsilbertests im Störschall. *Hno*. 2019;67(2):118-25.
107. Knopke S, Szczepek AJ, Haussler SM, Grabel S, Olze H. Cochlear Implantation of Bilaterally Deafened Patients with Tinnitus Induces Sustained Decrease of Tinnitus-Related Distress. *Frontiers in neurology*. 2017;8:158.
108. Radeloff A, Neckel M, Shehata-Dieler W, Rak K, Schraven SP, Grossmann W, Hagen R. [20 Years of Bilateral Cochlear Implantation - an Analysis of the Implanted Patients]. *Laryngo-rhino- otologie*. 2017;96(1):35-9.
109. Baljić I, Winkler A, Schmidt T, Holube I. Untersuchungen zur perzeptiven Äquivalenz der Testlisten im Freiburger Einsilbertest. *Hno*. 2016;64(8):572-83.
110. Winkler A, Holube I. Test-Retest-Reliabilität des Freiburger Einsilbertests. *Hno*. 2016;64(8):564-71.
111. Hoth S. Der Freiburger Sprachtest. *Hno*. 2016;64(8):540-8.
112. HörTech gGmbH - Kompetenzzentrum für Hörgeräte-Systemtechnik. Oldenburger Satztest - Bedienungsanleitung für den manuellen Test auf Audio-CD. Oldenburg: HörTech gGmbH; 2011. p. 28-30.
113. Bronkhorst AW, Plomp R. Binaural speech intelligibility in noise for hearing-impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1989;86(4):1374-83.
114. Buss E, Pillsbury HC, Buchman CA, Pillsbury CH, Clark MS, Haynes DS, Labadie RF, Amberg S, Roland PS, Kruger P, Novak MA, Wirth JA, Black JM, Peters R, Lake J, Wackym PA, Firszt JB, Wilson BS, Lawson DT, Schatzer R, D'Haese PS, Barco AL. Multicenter U.S. bilateral MED-EL cochlear implantation study: speech perception over the first year of use. *Ear and hearing*. 2008;29(1):20-32.
115. Bronkhorst AW, Plomp R. The effect of head-induced interaural time and level differences on speech intelligibility in noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1988;83(4):1508-16.
116. Loizou PC, Hu Y, Litovsky R, Yu G, Peters R, Lake J, Roland P. Speech recognition by bilateral cochlear implant users in a cocktail-party setting. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2009;125(1):372-83.

117. Hawley ML, Litovsky RY, Culling JF. The benefit of binaural hearing in a cocktail party: effect of location and type of interferer. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2004;115(2):833-43.
118. Kraaijenga VJ, van Zon A, Smulders YE, Ramakers GG, Van Zanten GA, Stokroos RJ, Huinck WJ, Frijns JH, Free RH, Grolman W. Development of a Squelch Effect in Adult Patients After Simultaneous Bilateral Cochlear Implantation. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2016;37(9):1300-6.
119. Yawn RJ, O'Connell BP, Dwyer RT, Sunderhaus LW, Reynolds S, Haynes DS, Gifford RH. Bilateral Cochlear Implantation Versus Bimodal Hearing in Patients With Functional Residual Hearing: A Within-subjects Comparison of Audiologic Performance and Quality of Life. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2018;39(4):422-7.
120. Louza J, Hempel JM, Krause E, Berghaus A, Muller J, Braun T. Patient benefit from Cochlear implantation in single-sided deafness: a 1-year follow-up. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*. 2017;274(6):2405-9.
121. Ketterer MC, Knopke S, Haussler SM, Hildenbrand T, Becker C, Grabel S, Olze H. Asymmetric hearing loss and the benefit of cochlear implantation regarding speech perception, tinnitus burden and psychological comorbidities: a prospective follow-up study. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*. 2018;275(11):2683-93.
122. Damen GW, Beynon AJ, Krabbe PF, Mulder JJ, Mylanus EA. Cochlear implantation and quality of life in postlingually deaf adults: long-term follow-up. *Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 2007;136(4):597-604.
123. Scoggins JF, Patrick DL. The use of patient-reported outcomes instruments in registered clinical trials: evidence from ClinicalTrials.gov. *Contemporary clinical trials*. 2009;30(4):289-92.
124. Fryback DG, Lawrence WF, Martin PA, Klein R, Klein BE. Predicting Quality of Well-being scores from the SF-36: results from the Beaver Dam Health Outcomes Study. *Medical decision making : an international journal of the Society for Medical Decision Making*. 1997;17(1):1-9.
125. Marquis P, Fayol C, Joire JE. Clinical validation of a quality of life questionnaire in angina pectoris patients. *European heart journal*. 1995;16(11):1554-60.
126. Mo B, Lindbaek M, Harris S. Cochlear implants and quality of life: a prospective study. *Ear and hearing*. 2005;26(2):186-94.
127. Olze H, Grabel S, Forster U, Zirke N, Huhnd LE, Haupt H, Mazurek B. Elderly patients benefit from cochlear implantation regarding auditory rehabilitation, quality of life, tinnitus, and stress. *The Laryngoscope*. 2012;122(1):196-203.
128. Mazurek B, Georgiewa P, Seydel C, Haupt H, Scherer H, Klapp BF, Reißhauer A. Integrierte Tinnitusintensivbehandlung: Konzept und erste praktische Erfahrungen. *Gesundheitswesen*. 2005;67(07):485-91.
129. Kobosko J, Pankowska A, Skarzynski H. [Coping strategies in postlingually deafened adult cochlear implant users in comparison to the hearing population]. *Otolaryngologia polska = The Polish otolaryngology*. 2012;66(2):132-7.

130. Knopke S, Grabel S, Forster-Ruhrmann U, Mazurek B, Szczepek AJ, Olze H. Impact of cochlear implantation on quality of life and mental comorbidity in patients aged 80 years. *The Laryngoscope*. 2016;126(12):2811-6.
131. Zirke N, Seydel C, Arsoy D, Klapp BF, Haupt H, Szczepek AJ, Olze H, Goebel G, Mazurek B. Analysis of mental disorders in tinnitus patients performed with Composite International Diagnostic Interview. *Quality of Life Research*. 2013;22(8):2095-104.
132. Tyler RS, Summerfield AQ. Cochlear implantation: relationships with research on auditory deprivation and acclimatization. *Ear and hearing*. 1996;17(3 Suppl):38-50.

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Andreas Pfluger, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Einfluss der Cochlea-Implantat-Versorgung auf Sprachverstehen, Lebensqualität, Tinnitus und Komorbiditäten von Patienten mit bilateraler CI-Versorgung“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Publikationsliste

Knopke S, Häussler S, Gräbel S, Wetterauer D, Ketterer M, Flugger A, Szczepek AJ, Olze H. Age-Dependent Psychological Factors Influencing the Outcome of Cochlear Implantation in Elderly Patients. *Otology & Neurotology*. 2019;40(4):e441-e53.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meiner Doktormutter Prof. Dr. med. Heidi Olze für die Bereitstellung des Themas und die konstruktive Zusammenarbeit bedanken.

Außerdem danke ich ganz herzlich Herrn Dr. rer. medic. Stefan Gräbel für die Betreuung, Planung und Umsetzung der Studie. Bei Fragen und Unklarheiten stand er immer mit Rat und Tat zur Seite.

Herzlich danken möchte ich Dr. med. Dominik Péus für seine Hilfe bei der Durchsicht und Überarbeitung der Dissertation.

Mein Dank gilt dem gesamten CI-Team, den Logopädinnen sowie allen an der Studie teilnehmenden Patienten. Jede dieser Personen hat einen Beitrag zur Studie geleistet und deren Durchführung überhaupt erst möglich gemacht.

Ganz besonders möchte ich meinen Eltern danken, die mich während des gesamten Studiums unterstützt haben.

Auch danke ich meiner Freundin und meinen Freunden am Bodensee und in Berlin für die unterstützenden und aufmunternden Worte, die mir vor allem in den schwierigen Phasen der Arbeit geholfen haben.

Des Weiteren bedanke ich mich bei allen Personen, die sich freundlicherweise zum Gegenlesen meiner Dissertation bereiterklärt haben.