

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und  
Ohrenheilkunde der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Martin Canis

(ehem. Direktor: Professor Dr. med. Alexander Berghaus)

**Der Zusammenhang zwischen Sprachverständlichkeit  
und Sprachverstehen von Patienten nach Cochlea  
Implantation**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Nicole Freimann

aus München

2017

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München**

Berichterstatterin: Prof. Dr. med. M. Schuster

Mitberichterstatter: Prof. Markus Suckfüll  
PD Jesus Bujia

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard  
Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 14.12.2017

**Meinen Eltern und meinen Schwestern gewidmet**

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b> .....  | <b>6</b>  |
| <b>2</b> | <b>Hintergrund</b> .....   | <b>10</b> |
| 2.1      | Hörphysiologie .....   | 10        |
| 2.2      | Einteilung der Schwerhörigkeit.....  | 12        |
| 2.3      | Prävalenz und Ursachen der Schwerhörigkeit .....   | 13        |
| 2.4      | Diagnostik der Schwerhörigkeit – audiometrische Verfahren.....                                 | 14        |
| 2.5      | Bedeutung von Satztests zur Ermittlung des Sprachverstehens.....                               | 15        |
| 2.6      | Lautsprache und Höreinfluss .....  | 16        |
| 2.7      | Das Cochlea Implantat.....   | 22        |
| 2.7.1    | Geschichtliche Entwicklung.....  | 22        |
| 2.7.2    | Aufbau und Funktion des CI.....  | 23        |
| <b>3</b> | <b>Material und Methoden</b> .....   | <b>25</b> |
| 3.1      | Patienten.....   | 26        |
| 3.2      | Gruppenzuordnung .....   | 26        |
| 3.3      | Bestimmung der Qualität der Sprachproduktion .....   | 27        |
| 3.4      | Sprachaudiometrische Diagnostik.....   | 30        |
| 3.4.1    | Freiburger Sprachaudiometrie .....   | 31        |
| 3.4.2    | Oldenburger Satztest (OLSA) in Ruhe und im Störschall.....                                     | 32        |
| 3.5      | Statistische Auswertung.....   | 34        |
| <b>4</b> | <b>Ergebnisse</b> .....  | <b>35</b> |
| 4.1      | Patientenkollektiv .....   | 35        |
| 4.2      | Qualität der Sprachproduktion .....  | 40        |
| 4.3      | Sprachaudiometrische Ergebnisse.....   | 41        |
| 4.4      | Vergleich der Qualität der Sprachproduktion mit den sprachaudiometrischen<br>Ergebnissen ..... | 48        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>5</b> | <b>Diskussion</b> .....   | <b>53</b> |
| 5.1      | Diskussion der Patientendaten .....   | 54        |
| 5.2      | Bewertung der neuen Methode zur Messung der Sprachqualität .....                  | 55        |
| 5.3      | Untersuchung des Sprachverstehens: Audiometrie .....                              | 56        |
| 5.4      | Qualität der Sprachproduktion WR.....   | 59        |
| 5.5      | Sprachproduktion (WR) und Sprachverstehen (audiometrische<br>Untersuchungen)..... | 63        |
| 5.6      | Einflussfaktoren .....  | 64        |
| <br>     |   |           |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung</b> .....  | <b>65</b> |
| <br>     |   |           |
| <b>7</b> | <b>Literaturverzeichnis</b> .....   | <b>67</b> |
| <br>     |   |           |
| <b>8</b> | <b>Anhang</b>   |           |
| <br>     |   |           |
| <b>9</b> | <b>Danksagung</b>   |           |

# 1 Einleitung

Cochlea Implantate (CI<sup>1</sup>) zählen zu den erfolgreichsten funktionsersetzenden Prothesen und haben weltweit mehr als 500.000 Menschen das Hören wieder ermöglicht (Deutsche Cochlear Implant Gesellschaft e.V. 2016). Die Hälfte der Nutzer sind Kinder, die damit eine normale Sprache entwickeln können (Zeng et al. 2008). Diese elektronische Innenohrprothese wird seit 1984 in Deutschland eingesetzt und etwa 45.000 Menschen hierzulande konnten davon profitieren (Deutsche Cochlear Implant Gesellschaft e.V. 2016). In Deutschland werden jährlich insgesamt 2.000 Patienten implantiert (Stöver und Lenarz 2009).

Der Nutzen des CI für das Sprachverstehen bei einer ausgeprägten, mit Hörgeräten nicht mehr ausreichend versorgbaren peripheren Schwerhörigkeit wurde bereits vielfach wissenschaftlich nachgewiesen und zeigt sich sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen bis ins hohe Lebensalter. Das CI etablierte sich als führendes technologisches Mittel mit der größten Wirksamkeit zur Behandlung der ausgeprägten Innenohrschwerhörigkeit (Bittencourt 2012; Chang et al. 2015; Souza et al. 2011; Teoh et al. 2004). Es bietet im Vergleich zu herkömmlichen externen Hörgeräten die vielversprechendste Behandlungsalternative bei einem schweren oder mehr als hochgradigen Hörverlust und erzielt die beste Sprachwahrnehmung bei prälingual ertaubten Kindern mit Vorteilen für den Erwerb von sprachlichen und kommunikativen Fähigkeiten (Bittencourt 2012; Wei 2007; Lin et al. 2012). Heutzutage kann mit einem CI ein Sprachverständnis für Sätze von bis zu über 80 % in Ruhe erreicht werden (Carlson et al. 2012). Vor allem eine bilaterale Cochlea Implantation ermöglicht zusätzlich eine Steigerung des Sprachverstehens im Störschall (Wei et al. 2007; van Hoesel et al. 2003; Ricketts et al. 2006; Litovsky et al. 2006) sowie eine Verbesserung des Richtungshörens (Senn et al. 2005), welches für den Betroffenen im Alltag von großer Bedeutung ist. Cochlea Implantate verhelfen zu gutem Sprachverstehen, zur Unterscheidung von Sprache, von Geräuschen aus der Umwelt und Warnsignalen sowie zu einer Verbesserung der sprachlichen Entwicklung, wenn herkömmliche Hörgeräte nicht mehr ausreichend sind (Bittencourt 2012; Mildner et al. 2006; van den

---

<sup>1</sup> Abkürzung für Cochlea-Implantat

Borne et al. 1998). Auch bei bereits vorhandenen Folgestörungen einer Hörstörung ist für die sprachliche und schulische Entwicklung vor allem bei Jugendlichen mit prälingual erworbenem hochgradigem Hörverlust die Versorgung mit CIs von hohem Belang (Souza et al. 2011; Waltzman et al. 1997; Waltzman et al. 1992). Die Effektivität auf die kommunikative Kompetenz betroffener Kinder ist vielfach nachgewiesen. Gerade prälingual ertaubte und in sehr jungem Alter implantierte Kinder entwickeln mit einem CI ein altersgerechtes Sprachverständnis und eine verständliche Sprache.

Mit einer elektronischen Innenohrprothese kann eine Gehörleistung ähnlich der von Patienten mit leichtem bis mittelgradigem Hörverlust erreicht werden. Jedoch ist die Leistung und Entwicklung des Gehörs vom Alter, von der Dauer der Taubheit (Bittencourt 2012; Mildner et al. 2006; van den Borne et al. 1998) sowie von mentalen Voraussetzungen abhängig. Insbesondere der psychische Zustand der Patienten hat einen Einfluss auf die Sprachwahrnehmung (Souza et al. 2011).

Aufgrund der zunehmend älter werdenden Bevölkerung steigt auch die Zahl der älteren Erwachsenen, die an behandlungsbedürftigem Hörverlust leiden. Hörverlust ist eine der drei häufigsten chronischen Erkrankungen und kann zu schwerwiegenden gesundheitlichen Auswirkungen führen. Besonders die psychische Beeinträchtigung durch eine Schwerhörigkeit darf hierbei nicht außer Acht gelassen werden. So wurde in einer Studie mit über 50-jährigen nicht versorgten hörgeschädigten Erwachsenen festgestellt, dass eine unbehandelte Hörstörung zu Traurigkeit, Depression, Angst, sozialer Isolation sowie zu Unsicherheit führen kann. Wie Cohen et al. (2004) in ihrer Studie beschreiben, haben hörgeschädigte Menschen weniger soziale Beziehungen, eine verminderte soziale Aktivität und leiden häufiger an Depressionen (Cohen et al. 2004).

Auch in der Studie von Souza et al. (2011) berichteten hörgeschädigte Patienten, bei denen die Hörgeräteversorgung nicht mehr ausreichend war, von einer Steigerung des Selbstvertrauens und des allgemeinen Wohlbefindens, nachdem sie mit einem CI versorgt worden waren. Die Versorgung einer Hörstörung dient also nicht nur der besseren Kommunikation, sondern kann sich auch positiv auf die Lebensqualität der Betroffenen auswirken (Souza et al. 2011; Liker et al. 2007; Cohen et al. 2004; O'Donoghue 2013).

Neben den Auswirkungen auf das Sprachverstehen hat eine unzureichende Versorgung einer Hörstörung auch Auswirkungen auf die Sprachproduktion. Bei lange bestehender Schwerhörigkeit werden Einschränkungen in allen Bereichen beschrieben, wie etwa bei der Lautbildung, in Wortschatz und Grammatik sowie bei der Prosodie und Erzählfertigkeit.

Ursache hierfür ist das reduzierte auditorische Feedback, das für die korrekte Vokalbildung bei der Artikulation notwendig, bei einem Schwerhörigen aber eingeschränkt ist (Leonhardt 2002; Neumeyer et al. 2015).

Auch Leder und Spitzer (1990) untersuchten die Auswirkung eines Hörentzugs auf die Sprach- und Stimmproduktion. Die Untersuchungen zeigten, dass auditorische Information für eine akkurate Sprach- und Stimmproduktion notwendig ist. Die Probanden mit Restgehör konnten zum Teil normale Sprachmuster erhalten (Leder und Spitzer 1990; Boothroyd 1985; Smith 1975; Zimmermann und Collins 1985). Die Sprachverständlichkeit korrelierte mit dem Restgehör. So zeigten Smith et al. (1975), dass ein gutes Restgehör unter 1.000 Hz die Sprachverständlichkeit von hochgradig schwerhörigen Kindern verbesserte (Leder und Spitzer 1990; Smith 1975).

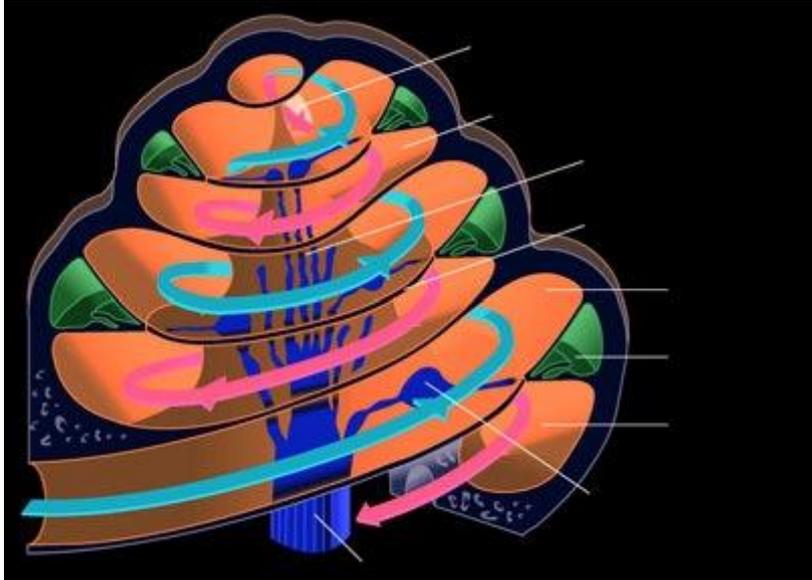
Andere Studien gingen ebenfalls der Frage der Sprachrückbildung nach plötzlicher Ertaubung nach und kamen zu dem Schluss, dass die Sprachproduktion mit der Zeit systematisch degeneriert. Demnach gibt es einen negativen Einfluss der Ertaubung auf die Sprachproduktion. Zwischen dem Hörvermögen und der Qualität der Sprachproduktion zeigt sich also auch bei Erwachsenen ein Zusammenhang (Leder und Spitzer 1990; Goehl und Kaufman 1984; Zimmermann und Rettaliata 1981). Für Patienten mit Cochlea Implantaten wurden bisher Verbesserungen nach der Implantation beschrieben, aber der Einfluss des Sprachverstehens auf die Sprachproduktion bislang nicht systematisch erfasst.

Ziel dieser Studie war es, den Zusammenhang zwischen dem Sprachverstehen mit CI und der Sprachproduktion, gemessen als Verständlichkeitsgrad, zu untersuchen. Auf den Zeitpunkt der Versorgung mit einem CI (Dauer der Ertaubung) und den Beginn der Schwerhörigkeit wurde ein besonderer Fokus gelegt. Es wurde der Zusammenhang zwischen der Qualität der Sprachproduktion und der Sprachverständlichkeit von 43 CI-Trägern und den Ergebnissen der

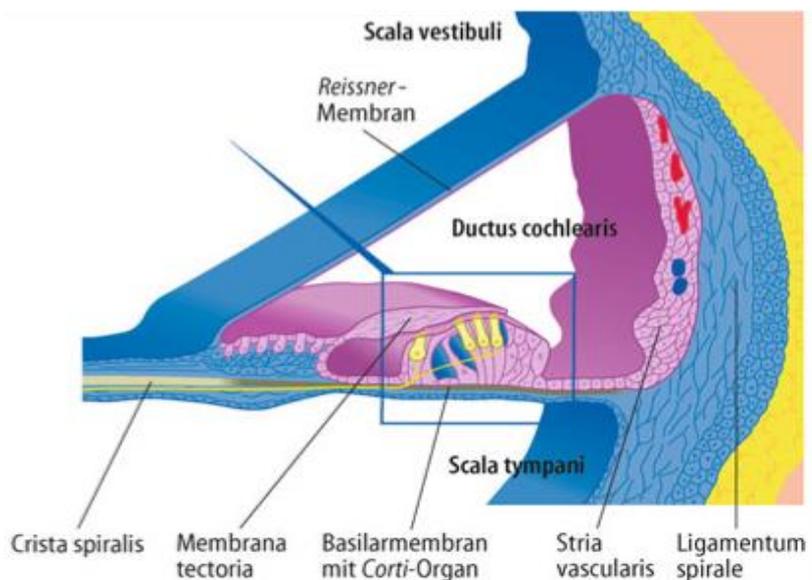
sprachaudiometrischen Tests untersucht. Im Vergleich zu anderen Studien, in denen die Verständlichkeit durch Zuhörer (Leder und Spitzer 1990) subjektiv bewertet wurde, konnte in unserer Studie die Verständlichkeit quantitativ, standardisiert und bewerterunabhängig mittels automatischem Spracherkennungssystem bestimmt werden.

## 2 Hintergrund

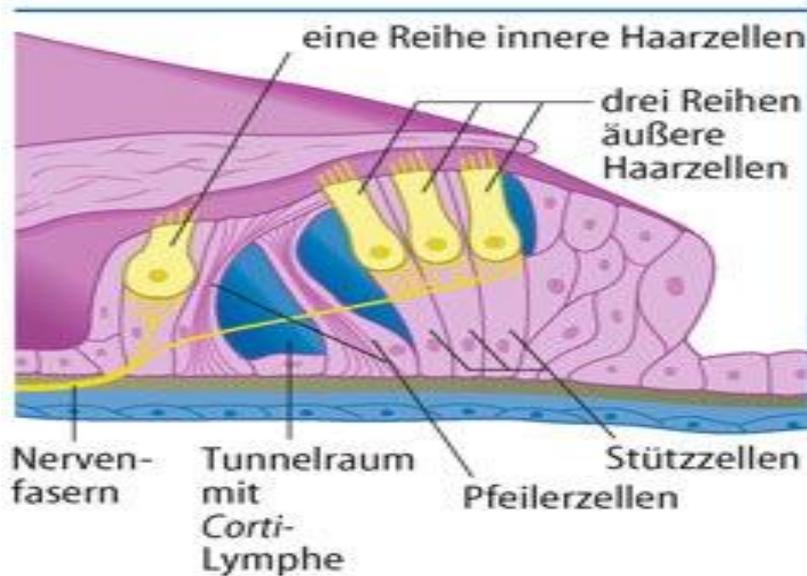
### 2.1 Hörphysiologie



**Abb. 1:** Schnitt durch die Schnecke nach Lenarz und Boenninghaus (Lenarz und Boenninghaus 2012)



**Abb. 2a:** schematische Darstellung des Ductus cochlearis mit Corti-Organ nach Lenarz und Boenninghaus (Lenarz und Boenninghaus 2012)



**Abb. 2b:** schematische Darstellung des Ductus cochlearis mit Corti-Organ nach Lenarz und Boenninghaus (Lenarz und Boenninghaus 2012)

Das Hörorgan dient dem Menschen als Mittel zur Kommunikation mit der Umwelt sowie als richtungsunabhängiges Warn- und Orientierungssystem. Es besteht aus drei Komponenten, dem äußeren Ohr, dem Mittelohr und dem Innenohr, welche jeweils eine unterschiedlich ausgeprägte Verstärkerfunktion haben und so zu einem enormen Hörfeld beitragen (Probst et al. 2008).

Die Umwandlung von Schallenergie in elektrische Impulse zur Weiterleitung an das Gehirn erfolgt in der Cochlea (Schnecke). Der 35 mm lange Canalis spiralis cochleae (Dallos 1992) windet sich zweieinhalbmal spiralförmig um den Modiolus, welcher die Achse der Cochlea darstellt (Lin et al. 2012). Das Corti-Organ liegt der Basilarmembran auf und enthält die äußeren und inneren Haarzellen sowie die Stützzellen (Lenarz und Boenninghaus 2012).

Die Breite der Basilarmembran nimmt von der Cochlea-Basis zur Spitze hin zu, die Steifigkeit ändert sich. Hohe Frequenzen sind so an der Schneckenbasis repräsentiert und tiefe Frequenzen an der Schneckenspitze mit einer Frequenzrepräsentation von etwa 16 Hz - 20.000 Hz.

Die Auslenkung der Basilarmembran durch Schallwellen führt zur Veränderung der Haarzellen im Corti-Organ, wobei die Stereozilien an der Spitze der Haarzellen abgeknickt werden und die Depolarisation einleiten. Im Gegensatz zu den rein sensorischen inneren Haarzellen haben die äußeren noch eine aktive Verstärkerfunktion durch rhythmische Kontraktionen der Zellen, wodurch die Auslenkung der Basilarmembran verstärkt und somit eine bessere Frequenzauflösung ermöglicht wird (Silbernagl et al. 2014). Die inneren Haarzellen wandeln akustische Reize in Nervenpotentiale um. Durch Endolymphbewegungen werden die Stereozilien der inneren Haarzellen ausgelenkt, Transduktionskanäle öffnen sich, Kalium strömt in die Haarzelle hinein. An der depolarisierten Haarzelle kommt es nun zum Calciumeinstrom am basalen Pol der Haarzelle und der Transmitter Glutamat wird ausgeschüttet. Dadurch werden die afferenten Nervenfasern erregt und Aktionspotentiale im Hörnerv erzeugt (Silbernagl et al. 2014). Diese werden über den intakten Hörnerv zur zentralen Hörbahn und schließlich zum auditorischen Cortex im Gyrus temporales transversus weitergeleitet. Dort erfolgt die Weiterverarbeitung der akustischen Information und ein Höreindruck entsteht (Probst et al. 2008). Wird ein Cochlea Implantat eingesetzt, so werden die physiologische Funktion des Schalltransportes und die mechanoelektrische Transduktion im Innenohr ersetzt. Stattdessen wird der Hörnerv direkt mit elektrischen Impulsen stimuliert.

## 2.2 Einteilung der Schwerhörigkeit

Das verminderte Hörvermögen, die Schwerhörigkeit (Hypakusis), wird nach Ausprägungsgrad des Hörverlustes eingeteilt.

### WHO Einteilung

|                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| Grad 0: normales Gehör            | 25 dB oder besser |
| Grad 1: geringgradiger Hörverlust | 26-40 dB          |
| Grad 2: mittelgradiger Hörverlust | 41-60 dB          |
| Grad 3: hochgradiger Hörverlust   | 61-80 dB          |
| Grad 4: Hörreste oder Taubheit    | > 81 dB oder mehr |

(bei maximaler Lautstärke kein Sprachverständnis) (Zahnert 2010)

Die Verteilung der Schwerhörigkeitsgrade in Deutschland sieht wie folgt aus:

Es gibt 8,7 Mio. geringgradig Schwerhörige, 5,46 Mio. mittelgradig Schwerhörige, 1,12 Mio. hochgradig Schwerhörige sowie 0,35 Mio. Menschen mit Resthörigkeit beziehungsweise Taubheit (Schulze und Zahnert 2014).

### **2.3 Prävalenz und Ursachen der Schwerhörigkeit**

Die Ursache für eine Schwerhörigkeit kann an verschiedenen Orten des Hörorgans liegen. Sie kann sich im Außenohr (Ohrmuschel und äußerer Gehörgang), im Mittelohr, im Innenohr, im Hörnerv oder in der zentralen Hörbahn bis zum auditorischen Cortex manifestieren.

Laut Schulze und Zahnert (2014) ist in 50% der Fälle die Ursache für eine sensorineurale Schwerhörigkeit unbekannt, in 20% ist sie erworben und in 30% der Fälle genetisch bedingt. Häufig führen akustische Traumata, Hörstürze sowie toxisch-infektiöse Ursachen zu einer Innenohrschwerhörigkeit (Schulze und Zahnert 2014).

In 30% der Fälle ist die genetisch hereditär bedingte Schwerhörigkeit an Fehlbildungssyndrome gekoppelt (syndromal). In 70% ist die genetisch bedingte Schwerhörigkeit unabhängig von anderen Fehlbildungen, somit nicht syndromal und schwierig zu diagnostizieren (Parker und Bitner-Glindzicz 2015; Schulze und Zahnert 2014). Eine Frühgeburt und ein Geburtsgewicht unter 1500 g führen in 6,6% der Fälle zu einer angeborenen Taubheit (Zahnert 2010; Downs und Silver 1972; Schönweiler 1993). Zudem können beispielsweise mütterliche Infektionen während der Schwangerschaft, ototoxische Medikamente, eine chronische Otitis media, eine Hypoxie und Hyperbilirubinämie sowie eine bakterielle Meningitis Ursachen für eine erworbene Schwerhörigkeit sein (Cremers und van Rijn 1991; Aschendorff et al. 2005).

Ein bis zwei von 1000 Neugeborenen kommen mit einer bilateralen Innenohrschwerhörigkeit mit mehr als 40 Dezibel Hörverlust zur Welt. Die angeborene Schwerhörigkeit ist eine der häufigsten angeborenen Erkrankungen in den Entwicklungsländern. Durch die Einführung des Neugeborenenhörscreenings ist eine

frühe Diagnose möglich. Somit kann frühzeitig eine Behandlung einschließlich der Cochlea Implantation, wenn sie indiziert ist, erfolgen (Parker und Bitner-Glindzicz 2014; Fortnum et al. 2001).

## **2.4 Diagnostik der Schwerhörigkeit – audiometrische Verfahren**

Um die Funktionsfähigkeit des Gehörs zu überprüfen und zu entscheiden, ob eine CI-Versorgung notwendig oder eine Hörgeräteversorgung indiziert ist (Ernst et al. 2009), werden in der klinischen Diagnostik verschiedene Untersuchungen in Kombination angewendet. Man unterscheidet dabei subjektive und objektive Verfahren, eine Attribuierung, die sich auf die Notwendigkeit der Mitarbeit bei der Untersuchung bezieht. Neben organübergreifenden Methoden kommen auch Verfahren zum Einsatz, die sich auf Teile des Hörorgans beziehen – wie zum Beispiel die Messung der Compliance des Trommelfells mittels Tympanometrie.

Zu den wichtigsten Untersuchungen zählen die Ton- und Sprachaudiometrie. Die Tonaudiometrie wird auch als Reintonaudiometrie (pure tone audiometry) bezeichnet, da dabei die Hörschwelle für „reine“ Sinustöne unterschiedlicher Frequenz erfasst wird. Hiermit können eine Schallleitungs- von einer Schallempfindungsstörung unterschieden sowie eine kombinierte Schwerhörigkeit erfasst werden.

Die Messung der Hörschwelle, eine subjektive Methode, welche die Mitarbeit des Patienten erfordert, gehört zu den routinemäßigen Untersuchungen der Hörleistung. Das Ergebnis kann von der Schnelligkeit der Reaktion des Patienten sowie dessen Konzentration abhängen. Dem Patienten werden Töne unterschiedlicher Frequenz angeboten. Dabei soll der Patient angeben, ob ein Ton gehört wird. Hierbei wird mittels schrittweiser Veränderung des Schallpegels die Hörschwelle ermittelt (Lehnhardt und Laszig 2009).

Für eine umfassende Hördiagnostik – besonders vor der Cochlea Implantat-Versorgung – sind weitere Untersuchungen erforderlich. Dazu gehört die Erfassung des Allgemeinzustand des Patienten, eine vollständige Anamnese einschließlich des HNO-Status mit Trommelfellmikroskopie.

Zu den objektiven Hörprüfungen zählen die Messung der transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen (TEOAE) und / oder Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen (DPOAE), die Tympanometrie und elektrophysiologische Methoden mit brainstem evoked response audiometry (BERA). Die Elektrocochleographie und der Promontoriumstest zur Ableitung cochleärer Potentiale und Prüfung der Erregbarkeit über den N. cochlearis sind optional. Weiterhin ist eine Labyrinthfunktionsprüfung mit kalorischer Prüfung erforderlich. Die radiologische Diagnostik, wozu ein hochauflösendes Felsenbein-CT und eine Kernspintomographie vom Schläfenbein und Kleinhirnbrückenwinkel gehören, dient zur genauen Darstellung der Anatomie des Felsenbeins (Leitlinie 2012).

## **2.5 Bedeutung von Satztests zur Ermittlung des Sprachverstehens**

Um die Sprachverständlichkeit von Patienten zu beurteilen und den Rehabilitationsbedarf zu ermitteln, werden in der Hördiagnostik verschiedene sprachaudiometrische Untersuchungen durchgeführt. Dazu zählen Wort- und Satztests, welche das Sprachverstehen in Ruhe sowie im Störgeräusch messen. Prinzipiell sind Sprachtests mit Einzelwörtern und Sätzen im Gebrauch. Sprachtests sollten vollständige Sätze als Sprachmaterial verwenden, da diese eher die Alltagssituation widerspiegeln. Sie zählen zu den routinemäßigen Nachsorgeuntersuchungen. Jedoch können Satztests auch Nachteile mit sich bringen, wie beispielsweise ein zu komplexes Sprachmaterial oder eine Verfälschung der Ergebnisse. Letzteres kann durch Wiederholung der Messungen entstehen, da sich Patienten an die Sätze erinnern und dadurch die Resultate verfälscht werden könnten (Müller-Deile 2009). Die Prüfung des Einsilberverstehens hingegen überprüft die exakte Worterkennung. Nur wenn jeder Laut (Phonem) richtig erkannt wird, kann das Wort korrekt nachgesprochen werden.

Im deutschsprachigen Raum kommen verschiedene Satztests zum Einsatz. Hierzu zählen der Göttinger Satztest, der Hochmair, Schulz und Moser Satztest (HSM), der Innsbrucker Satztest, der Marburger Satztest sowie der Oldenburger Satztest (Müller-Deile 2009). In unserer Studie wurde ausschließlich der Oldenburger Satztest in Ruhe

sowie im Störgeräusch verwendet, um einer Alltagssituation möglichst nahe zu kommen.

## **2.6 Lautsprache und Höreinfluss**

Die Sprachproduktion ist ein komplexer Prozess, der aus motorischer Aktivität und Koordination des Artikulationstraktes besteht. Grob eingeteilt zählen dazu die Anregung der Stimme durch die Ausatemluft, die Entstehung des Primärklangs im Kehlkopf und die Modulation des Primärklangs in Rachen, Mundhöhle und teils auch in der Nase mit den Nasennebenhöhlen (Havel et al. 2014; Lazarus et al. 2007; Meyer und Ptok 2011).

Eine herausragende lautsprachliche Veränderung durch eine anhaltende Schwerhörigkeit betrifft die Phonetik und die Veränderung der Lautbildung und Klangformung. Die Zunge, der Gaumen, der Rachen und die Lippen bilden einen Teil des Vokaltraktes und sind an der Artikulation beteiligt. Für die adäquate Artikulation sind sehr präzise und schnelle Bewegungen notwendig, die exakt aufeinander abgestimmt sind (Lazarus et al. 2007).

Bei allen Menschen, sowohl normalhörenden wie auch schwerhörigen, hängt das funktionelle Hören von Erfahrungen ab. Im Rahmen der Gehörentwicklung im frühen Kindesalter wird externen akustischen Reizen eine große Bedeutung für die Bildung von neuronalen Netzen zur Hörverarbeitung und Hörwahrnehmung zugesprochen. Beim Fehlen dieser akustischen Anregung kommt es zu einer irreversiblen Degeneration neuronaler Strukturen, die für das Hören initial angelegt sind. Mit ca. 3 Jahren ist die Hörbahnreifung abgeschlossen. Eine dann zu einem späteren Zeitpunkt erneut erfolgende Reizdarbietung trifft auf unwirksame Neuronensysteme des Hör- und Sprachsystems. Dann kann nur mit großer Mühe und Gehörrehabilitation ein funktionsfähiges Hör- und Sprachsystem erreicht werden, welches jedoch oftmals eingeschränkt bleibt. Bei mangelnder Verwendung der schon gebildeten synaptischen Kontakte werden diese im Rahmen einer Ertaubung abgebaut. Für den Spracherwerb spielen das Hören und dessen Entwicklung deshalb eine wichtige Rolle.

Um Sprache zu verstehen, muss der gehörte Sprachfluss, welcher aus vielen Lauten (Phonemen) besteht, segmentiert werden. Dann muss das Gehirn lernen, die Phoneme zu erkennen, zu unterscheiden, zu Worten zusammenzufassen und diesen eine Bedeutung zuzuordnen. Die auditive und artikulatorische Bildung des Lautsystems scheint zwischen dem 6. und 12. Lebensmonat stattzufinden. Die starke frühkindliche Plastizität des Gehirns ist für eine normale Hör- und Lautsprachentwicklung verantwortlich. Daher kommt der frühen Versorgung einer Schwerhörigkeit eine besondere Bedeutung zu (Diller et al.).

Zur Sprachentwicklung zählt man in einer groben Einteilung folgende Bereiche: Sprachverständnis, Wortschatz, Morpho-Syntax, Lautbildung und Sprachgebrauch. Alle Bereiche sind abhängig von einem ausreichenden Hörvermögen.

### **Entwicklung der Sprache**

Die Sprachentwicklung erfolgt rezeptiv (Sprachverständnis) und expressiv (Sprachproduktion) (Interdisziplinäre S2k-Leitlinie 2011). Ab dem 10. Lebensmonat wird der Wortschatz gebildet. Bis zum 12. Lebensmonat werden v.a. die Spracherkennung, die Prosodie und die Phonologie (Lautlehre) geformt. Die Sprachproduktion findet üblicherweise ab dem 12. Lebensmonat statt. In der 2. Hälfte des 2. Lebensjahres kommt es zu einer raschen Zunahme des Wortschatzes (Wortschatzspurt), danach zu einem steten Aufbau des Wortschatzes und zu Kenntnissen über die Wortbedeutung. Ab dem 24.-27. Monat entstehen dann die grammatikalischen Kenntnisse (Grimm 2012). Zur Prosodie gehören die Sprechmelodie und die Sprechdynamik, zum phonetisch-phonologischen System zählen Aussprache, Bildung und Anwendung von Lauten, zur Semantik zählen die Wortbedeutung und der Wortschatz. Wort- und Satzgrammatik werden dem morphologisch-syntaktischen Bereich zugeordnet (Interdisziplinäre S2k-Leitlinie 2011).

8-10 Monate:                    Wortverständnis

10-13 Monate:                Wortproduktion

20-24 Monate:               Wortkombination

ab 28 Monate:                Grammatik

In einem Lebensalter von 4-5 Jahren sollte die normale Sprachentwicklung abgeschlossen sein und alle Laute richtig ausgesprochen werden (Grimm 2012; Kannengieser 2015). Auf die einzelnen Bereiche wird im Folgenden eingegangen.

## **Artikulation**

Die Artikulation ist ebenso in hohem Maße von einem ausreichenden Hörvermögen abhängig. So wird eine „Landkarte“ verschiedener Laute der Muttersprache angelegt. Nach der Theorie des DIVA (Directions Into Velocities of Articulators) – Modells von Guenther (Guenther 1994; Guenther 1995; Guenther, Ghosh & Tourville 2006; Guenther, Hampson & Johnson 1998) existiert im Gehirn eine Region im Bereich des linken Operculum frontale eine Art „Landkarte für Sprachlaute“, von den Autoren als „Speech Sound Map“ bezeichnet. Dort werden alle Sprachlaute (Phoneme) gespeichert und wiedergegeben. Der Sprecher kann diese Phoneme unterscheiden, jedoch ist dafür die Voraussetzung, dass dieser die Repräsentationen der Phoneme durch Hörerfahrung gesammelt und angelegt hat.

Sofern eine angeborene Schwerhörigkeit vorliegt, können nur Laute vorhanden sein, welche auch gehört werden. Die „Speech Sound Map“ ist somit limitiert.

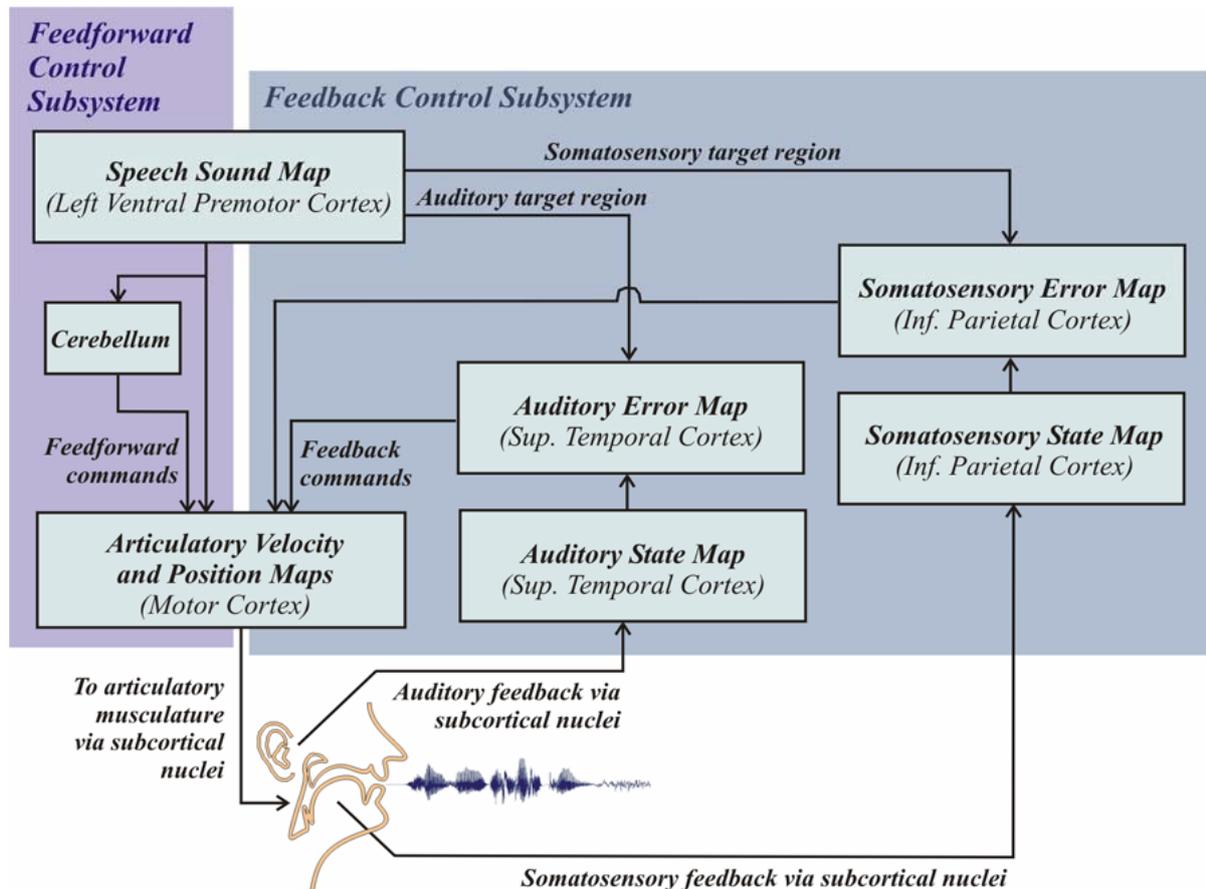
Während der Artikulation werden die „Maps“ ständig miteinander verglichen. Das heißt, der „Soll“- und der „Ist“-Zustand werden miteinander verglichen und die Artikulation entsprechend korrigiert (siehe Abbildung: Übersicht über das DIVA-Modell).

Kommt es zu einer Hörstörung und einer damit einhergehenden fehlenden auditorischen Rückmeldung, wird der zu produzierende Sprachlaut nicht korrigiert. Dieser wird dann so in der „Speech Sound Map“ gespeichert und nicht mehr durch die „Error Maps“ verbessert. Folge ist eine immer ungenauer werdende Artikulation bei Hörgeschädigten (Neumeyer 2015).

Das DIVA-Modell ist in zwei Systeme eingeteilt: das Feedforward- und das Feedback-Kontroll-System. Aus beiden Systemen werden Informationen im prämotorischen Kortex zusammengeführt.

Aus anderen Studien der Literatur ist bekannt, dass die Sprachproduktion von plötzlich ertaubten Menschen im Laufe der Zeit systematisch degeneriert. Zur Erhaltung der

normalen Artikulation ist die Notwendigkeit auditiver Information bestätigt worden (Leder und Spitzer 1990). Bei längerer Taubheit und Ausbleiben des auditorischen Inputs kann anfangs kein exakter Abgleich zwischen „Soll“- und „Ist“-Zustand stattfinden. Somit verschlechtert sich die Artikulation und damit die Sprachverständlichkeit.



**Abbildung 3:** Übersicht über das DIVA-Modell (Modell aus Guenther et al. 2006)

## **Wortschatz**

Für die Wortschatzentwicklung bei Kindern ist eine genaue Differenzierung verschiedener Wörter, basierend auf adäquaten auditorischen Fähigkeiten, notwendig. Nur bei eindeutiger Unterscheidbarkeit der Phoneme eines Wortes gelingt auch eine Zuordnung zu dessen Bedeutung.

In einer belgischen Studie zeigte etwa die Hälfte der mit einem CI versorgten Kinder altersgemäße sprachliche Fähigkeiten (Boons et al. 2013a). Eine frühe CI-Versorgung bringt Vorteile für die Wortschatzentwicklung (Nicholas und Geers 2013). Diese ist bei Kindern mit früher CI-Versorgung teilweise noch im Normbereich, weist aber eine große Variabilität auf. Die bilaterale Versorgung scheint dabei aber Vorteile zu zeigen (Sarant et al. 2014).

## **Grammatik**

Kinder zeigen im Alter von etwa 1 Jahr Vorläuferfähigkeiten für die Grammatikentwicklung. Bis zum Alter von etwa 1,5 Jahren bilden sie lediglich Einwortäußerungen, danach mit zunehmendem Wortschatz auch Mehrwortäußerungen mit adäquater Wortstellung im Satz (Syntax) und Anpassung von Verben, Substantiven und Adjektiven (Morphologie), welche die Wortbaulehre darstellt. Mit etwa 3,5 Jahren sind Kinder in der Regel in der Lage, komplexe Sätze zu bilden (Kannengieser 2015).

Eine Hörstörung kann durch die ungenaue Phonemdifferenzierung zu Einschränkungen insbesondere morphologischer Fähigkeiten führen; so können etwa Präfixe oder Wortendungen oft nicht ausreichend differenziert werden, die aber für die Wortbedeutung wesentlich sind.

In einer US-amerikanischen Studie zeigte sich bei einer frühen Implantation innerhalb der ersten drei Lebensmonate eine gute, aber verzögerte Grammatikentwicklung der Kinder. Ein Zusammenhang zum Sprachverständnis wurde nachgewiesen (Guo und Spencer 2017). Grammatikalische Auffälligkeiten betrafen hauptsächlich Elisionen bei Perfekt-Formen von Verben (Guo et al. 2013).

## **Erzählfertigkeit (narrative Fähigkeiten)**

Früh versorgte gehörlose Kinder können eine fast normale Erzählfertigkeit entwickeln, welche annähernd so gut wie die von normalhörenden Kindern ist (Murri et al. 2015). Dies betrifft vor allem Kinder ohne zusätzliche Entwicklungsstörung, die innerhalb der ersten 2 Jahre mit Cochlea Implantaten versorgt wurden (Boons et al. 2013a und b).

## **2.7 Das Cochlea Implantat**

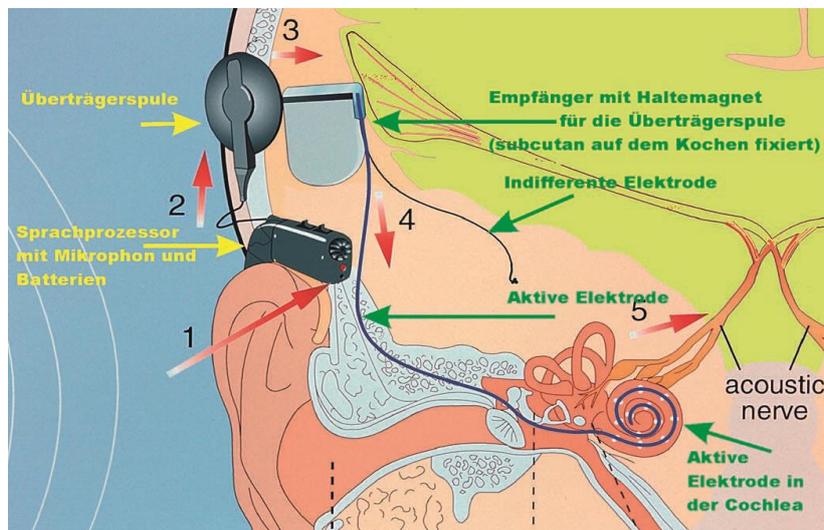
### **2.7.1 Geschichtliche Entwicklung**

Ende des 18. Jahrhunderts gelang es dem Physiker Alessandro Volta bei einem Experiment, eine auditorische Wahrnehmung mittels elektrischer Stimulation hervorzurufen, indem er die beiden Enden einer 50 Volt Batterie in seine Ohren platzierte (Zeng et al. 2008). Dies zeigte erstmals, dass Hören über eine direkte elektrische Stimulation möglich ist. Im Jahre 1957 implantierten Charles Eyriès und André Djourno zum ersten Mal eine Elektrode in das Innenohr eines tauben Menschen und lösten so einen Höreindruck mittels elektrischer Stimulation des (freigelegten) VIII. Hörnervs aus (Wilson und Dorman 2008; Blume 1999; Macherey und Carlyon 2014). Viele weitere Forscher wurden durch diese Experimente dazu ermutigt, elektronische Prothesen einzusetzen, um gehörlosen Menschen das Hören zu ermöglichen. Anfangs wurden noch einkanalige, später auch mehrkanalige Elektroden eingesetzt (Blume 1999).

1961 implantierten William House und John Doyle aus Los Angeles, Kalifornien, das erste Cochlea Implantat (einkanaliges Langzeitimplantat und Sprachprozessor). Bald darauf, 1964, implantierten Blair Simmons und Robert White von der Stanford Universität in Kalifornien eine 6-kanalige Elektrode in den Modiolus – sie führten also die erste Implantation einer mehrkanaligen Elektrode durch (Mudry und Mills 2013). Graeme Clark aus Australien, Blair Simmons sowie Claude Henri Chouard waren alle von der Notwendigkeit eines mehrkanaligen Implantates für ein ausreichendes Sprachverstehen überzeugt.

In den 1980er Jahren begann Clark mit der Implantation mehrkanaliger Elektroden und mit dem Einsatz tragbarer Sprachprozessoren (Blume 1999). Heutzutage werden stets mehrkanalige Elektroden eingesetzt, die sich aber in ihrer Bauart unterscheiden. Diese Elektroden unterscheiden sich in der Länge, die eine unterschiedliche Insertionstiefe von 20-31 mm erlaubt. Zudem unterscheiden sich die Elektroden des Cochlea Implantates in der Anzahl und Anordnung (Cochlea Implantat Systeme 2005).

## 2.7.2 Aufbau und Funktion des CI



**Abbildung 4:** (aus Helms et al. 2003)

Schematische Darstellung eines Cochlea Implantates, bestehend aus einer äußeren Komponente (Sprachprozessor mit Mikrophon und über der Haut platzierbarer magnetischer Überträgerspule) und einer inneren Komponente (Empfänger, Referenzelektrode und aktive Elektrode in der Cochlea).

Jedes Cochlea Implantat besteht aus einer externen und internen Komponente. Diese beiden Komponenten stehen transkutan über Radiofrequenzsignale miteinander in Verbindung.

Der äußere Anteil besteht aus einem Mikrophon und einem Sprachprozessor, welche hinter dem Ohr getragen werden, sowie aus einer Senderspule. Dieser Teil kann vom Patienten etwa zum Schlafen oder Baden entfernt werden.

Der Schall wird durch das Mikrophon aufgenommen und in elektrische Signale umgewandelt (Peterson et al. 2010). Diese eintreffenden Signale werden dann durch den Sprachprozessor analysiert, kodiert und transkutan an das interne Implantat übertragen (Cohen et al. 1993). Die Elektrode wird tief in die Scala tympani geschoben, um so die tonotopische Anordnung der Frequenzen in der Schnecke zu nutzen. Die Signalübertragung des Schalls an den Hörnerv erfolgt mittels Umgehung der beeinträchtigten Schnecke (Zeng et al. 2008; Lin et al. 2012).

### **2.7.3 Indikation für ein CI**

Laut den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie ist die Cochlea Implantation bei Patienten indiziert, bei denen mit konventionellen Hörgeräten kein ausreichendes Sprachverstehen erreichbar ist. Voraussetzung für eine Operation ist ein funktionierender Hörnerv und eine intakte Hörbahn. Dies muss durch vorherige Untersuchungen geprüft sein. Im Falle einer beidseitigen ausgeprägten Schwerhörigkeit sollte die Operation auch beidseitig durchgeführt werden. Des Weiteren ist eine Cochlea Implantation bei postlingual ertaubten Kindern, Kindern mit Restgehör, Jugendlichen und Erwachsenen indiziert. Bei prälingual tauben (gehörlosen) Erwachsenen ist die Implantation in manchen Fällen indiziert. Besonders bei ertaubten Kindern oder resthörigen Kindern, die nicht ausreichend von einem konventionellen Hörsystem profitieren, ist eine Implantation so früh wie möglich angebracht (Leitlinie 2012).

In dieser Arbeit soll der Zusammenhang zwischen dem Sprachverstehen (Hören) und der Sprachproduktion überprüft werden. Zu diesem Zweck wird zum einen die Qualität der Sprachproduktion, die Verständlichkeit, mit Hilfe rechnergestützter stochastischer Verfahren (automatische Spracherkennung) mit dem Wort- bzw. Satzverstehen in Ruhe und im Störgeräusch verglichen. Dies wird zusätzlich in Bezug zu Einflussfaktoren wie dem Beginn der Taubheit und deren Dauer vor einer Cochlea Implantat-Versorgung gesetzt.

### **3 Material und Methoden**

In dieser klinisch-prospektiven Studie wurde an einem mit Cochlea Implantat versorgtem Patientenkollektiv der Zusammenhang zwischen rezeptiven Fähigkeiten, dem Sprachverstehen, der Qualität der Sprachproduktion und dem Sprachverständlichkeitsgrad mittels automatischem Spracherkennungssystem gemessen und verglichen.

Dazu wurden die Patienten beim Sprechen eines festgelegten Wortinventars aufgezeichnet und audiometrische Untersuchungen durchgeführt. Die Sprachaufnahmen sowie die audiometrischen Untersuchungen fanden während der regelmäßigen Sprechstunde in schallarmen audiometrischen Untersuchungskabinen der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München statt. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität begutachtet und genehmigt. Nach dem Erhalt von Studieninformationen erteilten die Probanden die Einwilligung zur Teilnahme an der Studie.

Mithilfe eines Fragebogens konnten für die Studie wichtige anamnestische Daten erfragt werden. Die an der Studie teilnehmenden Patienten unterschrieben den Fragebogen und erklärten sich damit einverstanden, dass die Sprachdaten für die Studie anonymisiert verwendet und ausgewertet werden. Im Fragebogen wurden Angaben zu Beginn, Ausmaß und Dauer der Schwerhörigkeit und zur Hörgeräteversorgung erfragt. Besonders der Zeitpunkt der Ertaubung ist bei der Bewertung der Daten von Interesse. Da nur von wenigen Patienten audiometrische Ergebnisse von Verlaufsuntersuchungen des Hörvermögens vorlagen, wurde dieser Zeitpunkt anamnestisch bestimmt. Als funktionelle Taubheit wurde der Zustand festgelegt, in dem eine Hörgeräteversorgung ein Sprachverstehen in Ruhe nicht mehr erlaubte. Die Patienten wurden daher gefragt, seit wann die Hörgeräteversorgung nicht mehr ausreichend gewesen sei.

### 3.1 Patienten

Folgende Kriterien waren Voraussetzung zur Teilnahme an der Studie:

#### **Einschlusskriterien**

- Deutsch als Muttersprache
- Mindestalter 16 Jahre
- hinreichende Seh- und Lesefähigkeit (zum Ablesen der Wörter vom Bildschirm)
- Einverständnis in die Untersuchung
- CI-Versorgung ein- oder beidseitig, auch bimodale Versorgung (ein Ohr mit einem CI versorgt, ein Ohr mit einem herkömmlichen Hörsystem versorgt)
- mindestens dreimonatige Versorgung mit einem Cochlea Implantat

#### **Ausschlusskriterien**

- fehlende Einwilligung
- Nicht-Erreichen des Mindestalters
- Nicht-Erreichen der dreimonatigen Versorgung mit einem Cochlea Implantat

### 3.2 Gruppenzuordnung

Zur Bestimmung der Einflüsse wie Beginn und Dauer der Gehörlosigkeit wurden die Patienten drei Gruppen zugeordnet:

**Gruppe 1:** prälingual (vor dem Spracherwerb) ertaubt und spätversorgt (nach mehr als 2 Jahren nach der Ertaubung mit einem Cochlea Implantat versorgt)

**Gruppe 2:** postlingual (nach dem Spracherwerb) ertaubt und frühversorgt (innerhalb von 2 Jahren nach der Ertaubung mit einem Cochlea Implantat versorgt)

**Gruppe 3:** postlingual (nach dem Spracherwerb) ertaubt und spätversorgt (nach mehr als 2 Jahren nach der Ertaubung mit einem Cochlea Implantat versorgt)

Aufgrund der früher unüblichen raschen Versorgung von gehörlosen Kindern mit Cochlea Implantaten gibt es keine Gruppe mit frühversorgten Erwachsenen, die bereits in der Kindheit ertaubten bzw. gehörlos geboren wurden.

### **3.3 Bestimmung der Qualität der Sprachproduktion**

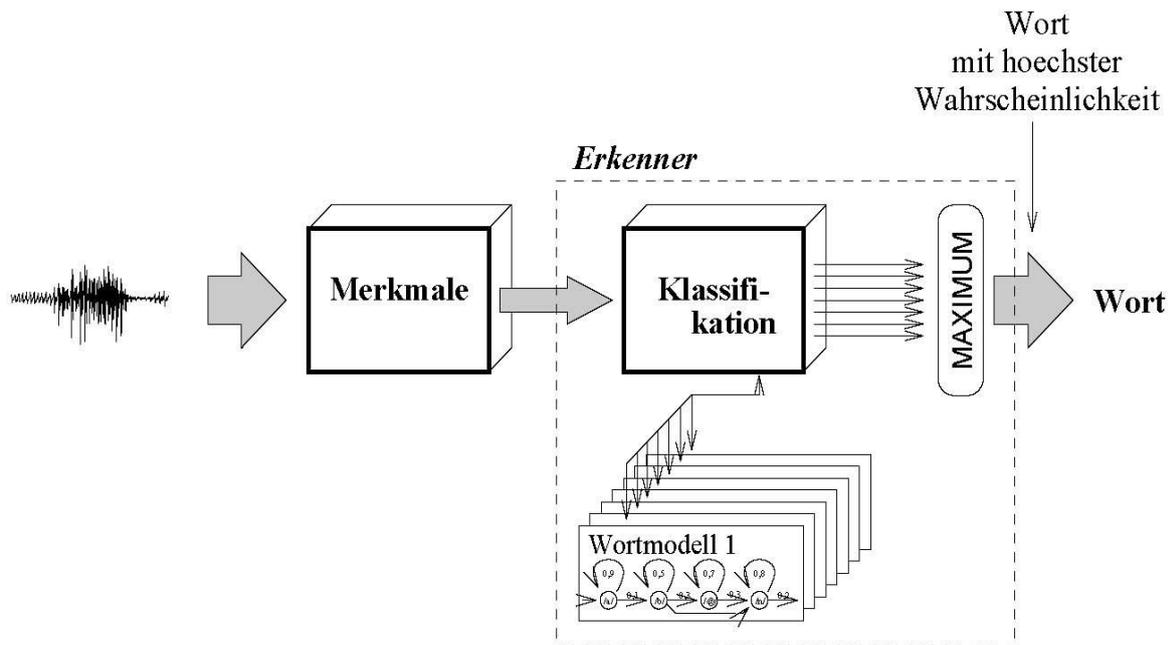
Zur Durchführung der Sprachaufnahmen wurde das Programm SpeechRecorder des Instituts für Phonetik und Sprachverarbeitung (IPS) mit einer Samplingfrequenz von 22,05 kHz verwendet. Das Programm SpeechRecorder ist eine Anwendung für sprach-, ton- und signal- gesteuerte Aufnahmen. Dieses Programm kann auf allen üblichen Computern als Client-Server-Applikation oder als lokal installiertes Programm verwendet werden. Für diese Untersuchung wurde es aus Sicherheitsgründen lokal auf dem PC installiert und die Aufnahmen erfolgten manuell. Während der Aufnahme hat der Versuchsleiter die Möglichkeit, diese zu kontrollieren. Bei Lesefehlern kann der Versuchsleiter den Patienten auffordern, die Wörter erneut vorzulesen. So kann eine ausreichende Aufnahmequalität gewährleistet werden. Die Aufnahmen erfolgten mit einem Nahbesprechungsmikrophon (Beyerdynamic Microphone Opus 54.15-3), das individuell eingestellt wurde. Das Mikrophon wurde vor dem Mund des Patienten platziert. Die Aussteuerung der Aufnahme wurde während der gesamten Aufnahmedauer vom Untersuchungsleiter überprüft und bei Bedarf angepasst. Die Probanden saßen vor einem Bildschirm, auf dem das Sprachmaterial in ausreichend großer Schrift gezeigt wurde.

#### **Sprachkorpus**

Die Patienten wurden aufgefordert, die am Monitor in ausreichend großer Schrift gezeigten Wörter in angemessener Lautstärke vorzulesen. Der Zeitpunkt der Aufnahme wurde dem Probanden und dem Untersuchungsleiter durch eine farbige Markierung auf dem Monitor angezeigt. Bei Lesefehlern wurden die Probanden aufgefordert, das Wort zu wiederholen. Das Sprachmaterial bestand aus 97 Wörtern, die alle Laute des Deutschen an unterschiedlichen Positionen im Wort enthielten. Darin enthalten waren 39 Einsilber, 47 Zweisilber, 10 Dreisilber und 1 Mehrsilber. Die

Wortliste ist an das Untersuchungsmaterial PLAKSS angelehnt, das zur Untersuchung phonetisch-phonologischer Störungen genutzt wird.

Zur Bestimmung der Sprachqualität wurde in der vorliegenden Arbeit eine Technik eingesetzt, welche bereits bei anderen Patienten mit Störungen der Sprachproduktion verwendet wurde (Schuster et al. 2006; Vogt et al. 2007). Hierbei wird zu einer objektiven Bestimmung der Sprachverständlichkeit eine automatische Spracherkennungstechnologie genutzt, die ähnlich wie herkömmliche Spracherkennungssysteme arbeitet. Es erfolgte eine stochastische Ermittlung des am ehesten gesprochenen Wortes auf der Basis speziell trainierter und angepasster Algorithmen. Das System, das hier zur Anwendung kam, wurde am Lehrstuhl für Mustererkennung der Technischen Fakultät der Universität Erlangen Nürnberg entwickelt. Ein Spracherkennungssystem analysiert akustische Eigenschaften von Sprache und arbeitet folgendermaßen: Die aufgenommenen Sprachdaten werden in kurzen zeitlichen Einheiten (10-20 ms) analysiert, welche sich überlappen. Darin werden zeitliche und spektrale Charakteristika untersucht, aufgegliedert und die Abfolge bekannten Phonem- oder Wortvorlagen gegenübergestellt (siehe Abb. 5). Mit dem Spracherkennungssystem können daher phonetische Abweichungen objektiv „erkannt“ werden (Schuster et al. 2006). Anschließend wird mittels stochastischer Wortmodelle, den so genannten Hidden-Markov-Modellen (HMM), ermittelt, mit welchem bekannten Wortmodell das analysierte Sprachsignal am ehesten korrespondiert (Vogt et al. 2007).



**Abbildung 5:** In der Abbildung wird das Verfahren des Spracherkennungssystems schematisch veranschaulicht. Die Aufnahme erfolgt von links nach rechts im Bild. Die Auswertung erfolgt von rechts nach links: die Worterkennungsrates gibt Aufschluss über die Güte des Sprachsignals (aus Schukat-Talamazzini 1995 et Vogt et al. 2007).

Üblicherweise basiert ein Spracherkennungssystem auch noch auf stochastischen Sprachmodellen, bezieht also die Wortumgebung und grammatikalische Besonderheiten ein. Dabei wird die Wahrscheinlichkeit für ein Wort bei einem Bigramm (vorheriges Wort) oder einem Trigramm (vorheriges und anschließendes Wort) Sprachmodell abhängig von umgebenden Wörtern ermittelt. Gewöhnlich ist die Erkennungsrate unter Einbeziehung dieser Faktoren höher. Um den Schwerpunkt auf das akustische Signal und damit die Ausformung jedes einzelnen Wortes zu setzen, wurde wie auch bei Vogt et al. (2007) für diese Anwendung ein Unigramm-Sprachmodell verwendet. Dieses berechnet die Wahrscheinlichkeit für ein einzelnes Wort unabhängig von den anderen Wörtern im Satz (Gallwitz et al. 1999). Um auch Ko-Artikulationen einzubeziehen, wurde ein polyphoner Ansatz gewählt, bei dem jeder Laut in Abhängigkeit von umgebenden Lauten berücksichtigt wird. So wird z.B. ein /e/ im Wort „lesen“ anders ausgesprochen als ein /e/ im Wort „Fest“. Die Spracherkennungsalgorithmen wurden in 6,9 Stunden dauernden Sprachaufnahmen von jungen Erwachsenen trainiert (Wahlster 2000). Aus den aufgenommenen Sprachdaten konnte die Worterkennungsrates (WR) als Maß für die Qualität

gesprochener Sprache berechnet werden. Die WR gibt an, zu wie viel Prozent das gesprochene Wort als übereinstimmend mit dem Zielwort erkannt wurde.

Die WR wird wie folgt berechnet:

$$WR [\%] = 100 * (NC) / N$$

NC: Anzahl der korrekt erkannten Wörter

N: Anzahl der gesamten gesprochenen Wörter

### **3.4 Sprachaudiometrische Diagnostik**

Entsprechend den aktuellen Leitlinien für die Cochlea Implantat-Versorgung findet im Rahmen der regelmäßigen Vor- und Nachuntersuchung von CI-Trägern eine detaillierte audiometrische Untersuchung statt. Hierzu werden subjektive und objektive Verfahren entsprechend der Einleitung eingesetzt. Für die Nachuntersuchungen werden vor allem der Freiburger Sprachverständlichkeitstest und der Oldenburger Satztest genutzt (AT 900, Auritec, Deutschland).

Der Oldenburger Satztest und der Freiburger Sprachverständlichkeitstest wurden während der routinemäßigen Nachuntersuchung – also nach der Erstanpassung – in 1-, 3-, 6- und 12-monatigen Intervallen und danach in einem jährlichen Zeitraum nach der Cochlea Implantation in der audiologischen Abteilung der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde des Klinikums Großhadern an dem Studienkollektiv durchgeführt. Die Sprachtests fanden in schallarmen Untersuchungskabinen statt. Die Audiologie-Kabinen erfüllen dabei die Anforderungen der ISO/8253 Norm (Lehnhardt und Laszig 2009).

#### **Untersuchungsablauf**

Die sprachaudiometrischen Untersuchungen erfolgten im Freifeld. Das bedeutet, dass der Schall nicht wie üblich über einen Kopfhörer angeboten wurde, sondern normiert über Lautsprecher. Zur Messung des Sprachverstehens mit nur einem Cochlea Implantat wird das Hörgerät im anderen Ohr üblicherweise ausgeschaltet. Für die hier zum Vergleich eingesetzte binaurale Messung wurden CI und Hörgerät angeschaltet

belassen. Die Patienten saßen in einem Abstand von 1 Meter von dem Lautsprecher entfernt, aus dem das Sprachsignal angeboten wurde. Der Patient sollte während der gesamten Messung möglichst gerade auf seinem Stuhl sitzen bleiben und sich nicht der Schallquelle nähern, um so den notwendigen Abstand beizubehalten. In die Studie wurden die Daten des Freiburger Sprachaudiogramms (Zahlen und Einsilber) und des Oldenburger Satztests in Ruhe und im Störschall einbezogen.

### **3.4.1 Freiburger Sprachaudiometrie**

Das Sprachmaterial des Freiburger Sprachverständlichkeitstest besteht zum einen aus einem Inventar von 10 Gruppen mit je 10 zweistelligen Zahlen und zum anderen aus 20 Gruppen mit je 20 einsilbigen Wörtern (Lehnhardt und Laszig 2009).

Der Zahlentest dient üblicherweise zur Prüfung des Hörverlustes für Mehrsilber (Zahlen von 21 bis 99, HVZ) in dB, der Einsilbertest misst die Verständlichkeit für einsilbige Wörter in Prozent bei verschiedenen Schalldruckpegeln. In unserer Studie wurde die Verständlichkeit für Zahlen ebenfalls in Prozent angegeben, um so die Verständlichkeit für Mehrsilber bei einem vergleichbaren Schallpegel zu messen. Die Untersuchung der Einsilber-Verständlichkeit dient hauptsächlich der Bewertung des überschwelligen Sprachverstehens.

Anders als beim OLSA wurde bei diesem sprachaudiometrischen Verfahren kein Störschall verwendet. Die Verständlichkeit eines Normalhörenden wird als Maß für die Prüfung der Verständlichkeit von CI-Trägern herangezogen. Im Gegensatz zu den Einsilbern ist für einen Hörgesunden zur Verständlichkeit von Zahlen aufgrund ihrer größeren Redundanz meist ein geringerer Lautstärkepegel erforderlich. Ein Normalhörender versteht bei 18,5 dB 50% der Zahlen, bei 30 dB 100% der Zahlen. Zur Verbesserung der Verständlichkeit von einsilbigen Wörtern hingegen ist ein wesentlich höherer Pegel notwendig. Um 50% der Einsilber zu verstehen, sind 30 dB erforderlich und 50 dB, um eine Steigerung der Sprachverständlichkeit auf 100% zu erreichen.

Bei hörgeschädigten Menschen ist ein Sprachschallpegel von 50 dB meist zu niedrig, um ein Sprachverstehen zu erreichen. So wird der Freiburger Zahlen- und Einsilbertest

meist mit einem Schallpegel von 65 dB begonnen und dann in Schritten von 15 dB erhöht. Es ist sinnvoll, dem Patienten den Sprachschallpegel von 65 dB im Freifeld aus 1 Meter Entfernung anzubieten, da dieser dann dem Alltagslautstärkepegel entspricht (Lehnhardt und Laszig 2009).

Die sprachaudiometrischen Untersuchungen dienen nicht nur der Prüfung des peripheren Gehörs, sondern beinhalten immer auch eine Beurteilung der höheren assoziativen Fähigkeiten. Dies bedeutet, dass das Ergebnis – wenn auch zu einem geringen Teil – davon abhängt, wie gut der Patient etwas aufgrund semantischen und grammatikalischen Wissens oder auch abhängig von der Vigilanz wiedergeben kann, auch wenn er nicht immer jedes angebotene Wort vollständig versteht (Lehnhardt und Laszig 2009).

### **3.4.2 Oldenburger Satztest (OLSA) in Ruhe und im Störschall**

Der Oldenburger Satztest (OLSA) (Wagener et al. 1999 a,b,c) bietet sich bei der Ermittlung der Sprachverständlichkeitsschwelle (SVS) sowohl in Ruhe als auch im Störgeräusch an. Dieser Sprachverständlichkeitstest dient bei Patienten mit Cochlea Implantaten üblicherweise dazu, die Verbesserung des Sprachverstehens nach der CI-Versorgung zu beurteilen. Das Sprachmaterial des OLSA umfasst 40 Testlisten von je 30 ganzen Sätzen (drei Blöcke sind aufgliedert in jeweils 10 Sätze), die sich stets aus einem Namen, einem Verb, einem Zahlwort, einem Adjektiv und einem Substantiv zusammensetzen. Ein Satz besteht jeweils aus 5 Wörtern. Beispiel: „Ulrich schenkt sieben schwere Sessel.“

Dieses audiometrische Verfahren eignet sich vor allem – anders als der Göttinger Satztest, welcher in schnellerer Sprechgeschwindigkeit als der OLSA angeboten wird – auch für Patienten mit hochgradiger Schwerhörigkeit und für Cochlea Implantat-Träger. Die Sätze im OLSA werden in mittlerer Sprechgeschwindigkeit gesprochen, um so auch den Alltagssituationen näher zu kommen. Des Weiteren misst der Oldenburger Satztest mit sehr hoher Genauigkeit und kann so oft wie gewünscht wiederholt werden. Die Darbietung der 150 Wörter (aus den 30 Sätzen) erfolgt in

randomisierter Reihenfolge, um dem Effekt des Auswendiglernens entgegenzuwirken und somit die Wiederholbarkeit des Tests zu verbessern.

Aufgrund dieser Randomisierung entstehen nicht immer sinnvolle Sätze, was aber durchaus gewollt ist, um semantische Kenntnisse für das Nachsprechen der Sätze weitgehend zu vermeiden.

Für diese Untersuchung fanden die Messungen im Freifeld statt, das heißt, dass die gesprochenen Sätze von einer menschlichen Stimme über einen Lautsprecher und nicht über Kopfhörer dargeboten wurden. Die Patienten saßen im Abstand von 1 Meter vom Lautsprecher entfernt und sollten ihren Blick darauf richten. Für die Messungen in Ruhe wurde bei den CI-Patienten mit einem Pegel von über 30 dB begonnen und automatisch gesteigert. Während der Messung im Störgeräusch wurden den Patienten die Sätze mit einem sprachsimulierenden Rauschen, welches einer geräuschbehafteten, umgebungsnahen Situation entspricht, bestehend aus konstanter Pegelhöhe von 65 dB, dargeboten. Jedes von dem Probanden richtig verstandene und wiedergegebene Wort wurde als richtig gewertet. In Abhängigkeit von den durch den Patienten richtig verstandenen Wörtern einer Satzdarbietung wurde der nachfolgende Schallpegel des Sprachsignals verändert, bis das 50%ige Sprachverstehen ermittelt werden konnte. Dies bedeutet, dass bei einer Anzahl von 50% richtig verstandener Wörter die Sprachlautstärke nicht erhöht werden darf und bei weniger als 50% richtig verstandener Wörter die Lautstärke nicht verringert werden darf. Die Lautstärke des Sprachsignals wurde somit je nach der Anzahl korrekt wiedergegebener Wörter in Schritten von 1 dB erhöht oder verringert. Dies war für eine möglichst genaue Festlegung der Sprachverständlichkeitsschwelle von Vorteil.

Die Sprachverständlichkeitsschwelle (SVS) von Normalhörenden dient als Vergleichsmaß für die Sprachverständlichkeitsschwelle der CI-Träger. Das Ergebnis der Messung wurde ausgewertet und als SVS angegeben. Angeführt als „dB in Ruhe“ und in „dB S/N im Störgeräusch“ (Signal Rausch Abstand/ Signal Noise Ratio) (= Pegelunterschied Sprachsignal und Störgeräusch). Beispiel zur Berechnung der SVS im Störgeräusch mit einer Testliste von 30 Sätzen: Mittelwert des Sprachsignalpegels der 30 Sätze = 60 dB; Störgeräusch 65 dB

$$\text{SVS} = 60 \text{ dB} - 65 \text{ dB Störgeräusch} = - 5 \text{ dB S/N (S=Sprachsignal/ Signal; N = Störschall/Noise)}$$

Im Störschall entspricht die SVS dem Signal-Rausch-Abstand. Bei diesem wurden 50% der getesteten Wörter richtig verstanden. Die SVS entspricht also wiederum einer Sprachverständlichkeit von 50% (Oldenburger Satztest, HörTech GmbH, Oldenburg; Wagener et al. 1999a; Wagener et al. 1999b; Wagener et al. 1999c; Wagener 2004; Wagener und Kollmeier 2004).

### **3.5 Statistische Auswertung**

Für die statistische Auswertung wurde das Programm Microsoft® Office Excel 2003 (11.8404.8405) und das Statistik Programm SPSS Statistics 22 (Version 22.0.0.1) verwendet.

Für die Berechnungen und den Vergleich zwischen den drei Patientengruppen wurde der nicht-parametrische Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Variablen genutzt. Der Spearman Test wurde für die Korrelationsanalyse der Worterkennungsrates in Bezug auf die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitstests herangezogen. Als statistisch signifikant wurde ein p-Wert  $\leq 0,05$  angenommen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Patientenkollektiv

An dieser prospektiven-klinischen Kohortenstudie nahmen 43 Patienten teil. Davon waren 15 (35%) männlichen und 28 (65%) weiblichen Geschlechts. Das Verhältnis von Männern zu Frauen lag zum Zeitpunkt der Sprachaufnahmen sowie der Sprachtests damit bei 1:1,86.

Der jüngste an der Studie teilnehmende Patient war 17 Jahre, der älteste 88 Jahre alt. Der Mittelwert lag bei  $54,5 \pm 18,5$  Jahre.

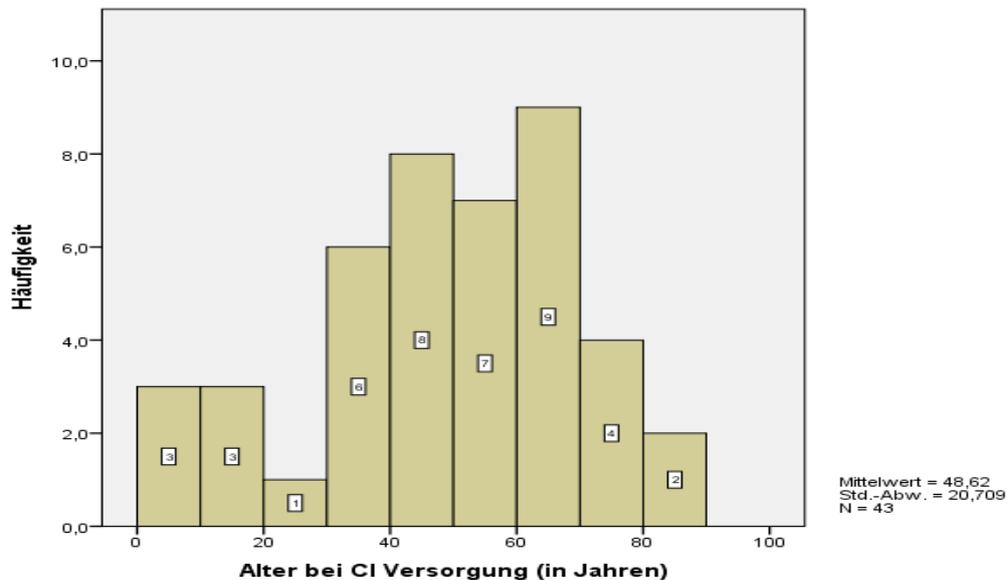
Die männlichen Patienten waren durchschnittlich  $59 \pm 18$  Jahre, die weiblichen  $52 \pm 19$  Jahre. 18 Patienten (42%) waren rechts mit einem CI versorgt, 12 Patienten (30%) waren links mit einem CI versorgt und 13 Patienten (30%) waren beidseits mit einem CI versorgt. Davon trugen 11 Patienten nur rechts ein CI ohne Hörgerät auf der linken Seite, 9 Patienten trugen nur links ein CI ohne Hörgerät rechts und weitere 10 Patienten waren bimodal versorgt. Alle Patienten waren zum Zeitpunkt der Sprachaufnahmen sowie der Sprachtests bereits mindestens 3 Monate mit einem Cochlea Implantat versorgt.

#### Alters- und Geschlechtsverteilung

|          | Anzahl (N) |        | Alter (MW $\pm$ SD) |             |
|----------|------------|--------|---------------------|-------------|
|          | Frauen     | Männer | Frauen              | Männer      |
| Gesamt   | 28         | 15     | $52 \pm 19$         | $59 \pm 18$ |
| Gruppe 1 | 7          | 3      | $31 \pm 15$         | $51 \pm 25$ |
| Gruppe 2 | 10         | 2      | $56 \pm 17$         | $63 \pm 21$ |
| Gruppe 3 | 11         | 10     | $62 \pm 13$         | $61 \pm 16$ |

**Tabelle 1:** In dieser Tabelle sind Alters- und Geschlechtsverteilung aller Patienten sowie der einzelnen Gruppen aufgelistet

## Altersverteilung bei CI Versorgung



**Abbildung 6:** Darstellung der Altersverteilung bei Cochlea Implantat Versorgung innerhalb des gesamten Patientenkollektivs (n=43)

Der jüngste Patient wurde mit 3 Jahren implantiert, der älteste mit 88 Jahren. Die CI-Tragedauer bei allen Patienten betrug mindestens 3 Monate (Mittelwert und SD: 71 Monate  $\pm$  67 Monate). Insgesamt war die untersuchte Probandengruppe in Bezug auf das Alter bei der Messung und bei der Implantation inhomogen. Von den 43 Patienten waren 9 (21%) zum Zeitpunkt der Implantation zwischen 60 und 70 Jahre alt, sodass bei dieser Altersgruppe die größte Häufung der Cochlea Implantation vorlag. Dieser Gruppe folgten 8 Patienten (19%), welche zum Zeitpunkt der Cochlea Implantation zwischen 40 und 50 Jahre alt waren. 7 Patienten (16%) waren bei der CI-Versorgung zwischen 50 und 60 Jahre alt, 6 Patienten (14%) waren zwischen 30 und 40 Jahre. Bei 9% (4 von 43 Patienten) lag das Implantationsalter im 70.-80. Lebensjahr. Jeweils 7% (je 3 von 43 Patienten) wurden bis zum 5. Lebensjahr sowie zwischen dem 5. und 20. Lebensjahr implantiert. Lediglich 2 Patienten (5%) wurden zwischen 80 und 90 Jahren implantiert und 1 Patient (2%) zwischen 20 und 30 Jahren.

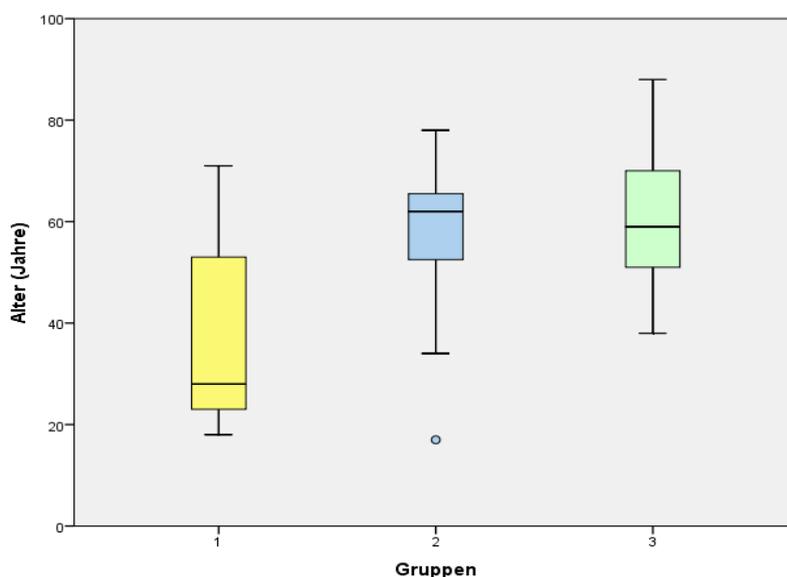
Im Durchschnitt waren die Patienten zum Zeitpunkt der Implantation  $49 \pm 21$  Jahre alt. Betrachtet man die Altersverteilung innerhalb der Gruppen mit CI-Versorgung, so fällt

auf, dass die Patienten der prälingual ertaubten und spätversorgten Gruppe zum Zeitpunkt der Implantation im Altersdurchschnitt die jüngsten waren (MW 31 Jahre  $\pm$  SD 21 Jahre). Sie waren auch im Gesamtdurchschnitt die jüngsten Patienten (MW 37 Jahre  $\pm$  SD 19 Jahre). In der Gruppe 2, also der postlingual und frühversorgten Patienten, lag das Alter zum Zeitpunkt der Implantation bei 50 Jahren  $\pm$  19 Jahre sowie das durchschnittliche Alter bei 57 Jahren  $\pm$  17 Jahre. Diese Gruppe war somit bei der Implantation wie auch zum Zeitpunkt der Sprachaufnahmen und Sprachtests im Durchschnitt älter als Gruppe 1. In der Gruppe 3, welche sich aus postlingual und spätversorgten Patienten zusammensetzte, lag das durchschnittliche Alter im Vergleich zu den anderen Gruppen am höchsten. Der Mittelwert bei der Implantation lag bei 56 Jahren  $\pm$  17 Jahre und im Mittel waren die Patienten die ältesten im Vergleich zu den anderen Gruppen (MW 61 Jahre  $\pm$  SD 14 Jahre).

Zwischen den Gruppen 1 & 2 ( $p=0,035$ ) und 1 & 3 ( $p=0,004$ ) konnte ein signifikanter Unterschied im Hinblick auf das Alter bei der CI-Versorgung beobachtet werden.

Zwischen Gruppe 2 & 3 war kein signifikanter Unterschied festzustellen ( $p=0,421$ ).

### Altersverteilung innerhalb der drei Gruppen



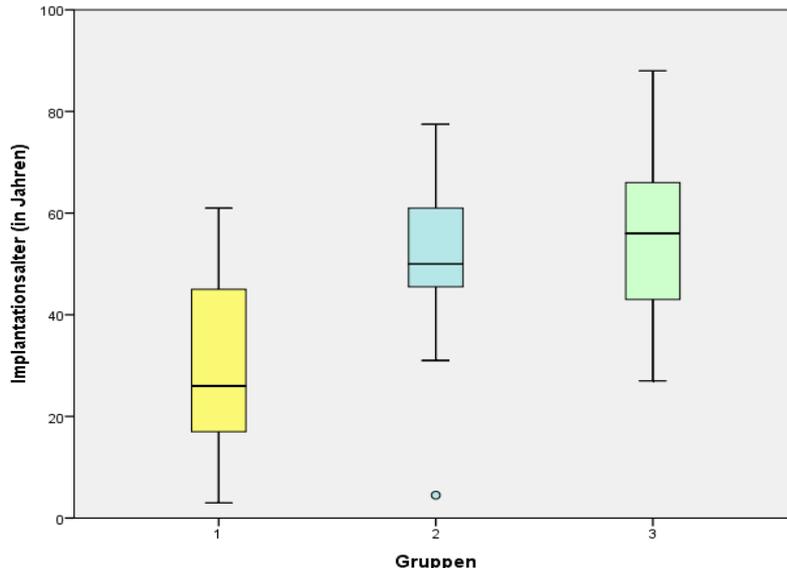
**Abbildung 7:** Darstellung der Altersverteilung in Jahren zwischen den Gruppen

Die Patienten waren im Durchschnitt 55 Jahre alt (SD  $\pm$  19 Jahre). In Gruppe 1 waren die Probanden durchschnittlich 37 Jahre alt, mit einer Standardabweichung von  $\pm$  19

Jahren, wobei der jüngste 18 Jahre und der älteste 81 Jahre alt war. In Gruppe 2 waren die Probanden durchschnittlich 57 Jahre alt, mit einer Standardabweichung von  $\pm 17$  Jahren, wobei der jüngste 17 Jahre und der älteste 78 Jahre alt waren. In Gruppe 3 waren die Probanden durchschnittlich 61 Jahre alt, mit einer Standardabweichung von  $\pm 14$  Jahren, wobei der jüngste 38 Jahre alt war und der älteste 88 Jahre. Dies ist auch in der oben aufgeführten Boxplot Grafik anhand der unterschiedlichen Balken zu erkennen.

Beim Vergleich der Gruppen 1 und 2 war ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich des Alters zu sehen ( $p=0,032$ ). Im Vergleich zwischen der Gruppe 1 und 3 lag ebenfalls hinsichtlich des Alters ein statistisch signifikanter Unterschied vor ( $p=0,005$ ). Zwischen der Gruppe 2 und 3 gab es bezüglich des Alters keinen statistisch signifikanten Unterschied ( $p=0,680$ ) (s. Tabelle 1).

### Vergleich Implantationsalter zwischen den Gruppen (in Jahren)



**Abbildung 8:** Darstellung der Verteilung des Implantationsalters zwischen den Gruppen

Zusammengefasst waren die Patienten der Gruppe 2 und 3 auch im Mittel zum Zeitpunkt der Untersuchung älter und auch bei der Cochlea Implantat-Versorgung älter als die Patienten der Gruppe 1.

| <b>MW ± SD</b>  | <b>Anzahl<br/>(N)</b> | <b>CI Tragedauer<br/>(in Monaten)</b> | <b>Implantationsalter<br/>(in Jahren)</b> |
|-----------------|-----------------------|---------------------------------------|---|
| <b>Gesamt</b>   | 43                    | 71 ± 67                               | 49 ± 21                                   |
| <b>Gruppe 1</b> | 10                    | 82 ± 60                               | 31 ± 21                                   |
| <b>Gruppe 2</b> | 12                    | 80 ± 63                               | 50 ± 19                                   |
| <b>Gruppe 3</b> | 21                    | 61 ± 73                               | 56 ± 17                                   |

**Tabelle 2:** Mittelwerte und Standardabweichung der CI-Tragedauer und des Implantationsalters

## 4.2 Qualität der Sprachproduktion

Alle 43 an der Studie teilnehmenden Patienten erreichten eine Worterkennungsrate von 65,72 % ± 13,32 SD (Minimum %, Maximum %).

### Vergleich der Sprachproduktion zwischen den Gruppen

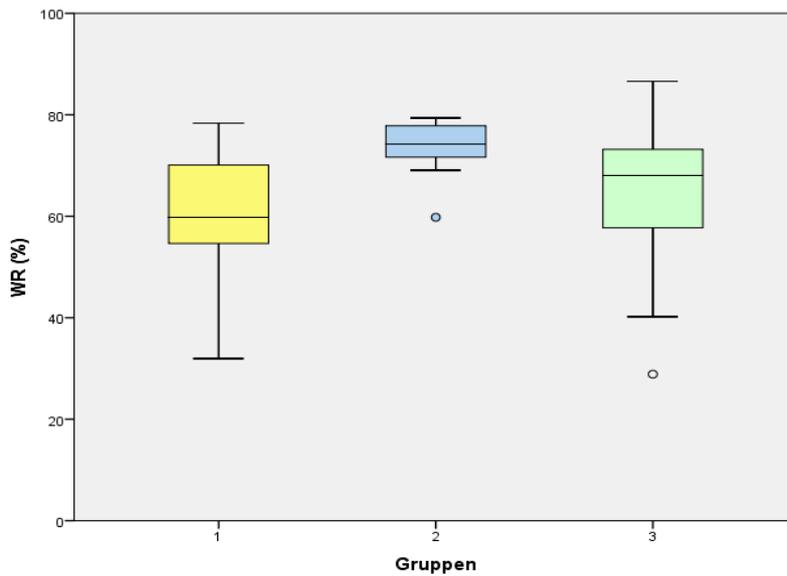
Für den Vergleich der zu untersuchenden Variablen zwischen den drei Patientengruppen wurde der nicht-parametrische Mann-Whitney-U-Test herangezogen. Es ergaben sich folgende Ergebnisse:

| WR       | Gruppe 1     | Gruppe 2     | Gruppe 3     |
|----------|--------------|--------------|--------------|
| Gruppe 1 | -            | <b>0,009</b> | 0,375        |
| Gruppe 2 | <b>0,009</b> | -            | <b>0,038</b> |
| Gruppe 3 | 0,375        | <b>0,038</b> | -            |

**Tabelle 3:** signifikante Unterschiede der WR zwischen den Gruppen (angegeben ist das Maß für Signifikanz, p)

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist, konnte zwischen der Gruppe 1 und 2 ( $p=0,009$ ) und der Gruppe 2 und 3 ( $p=0,038$ ) hinsichtlich der Worterkennungsrate ein statistisch signifikanter Unterschied beobachtet werden.

Zwischen der Gruppe 1 und 3 ( $p=0,375$ ) ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied.



**Abbildung 9:** Darstellung der Worterkennungsrates (in %) bei den drei Gruppen. In Gruppe 1 lag die WR bei  $59,69\% \pm 13,92\%$ , in Gruppe 2 lag die WR bei  $73,62\% \pm 5,50\%$  und in Gruppe 3 lag die WR bei  $64,06\% \pm 14,50\%$ .

### 4.3 Sprachaudiometrische Ergebnisse

| MW $\pm$ SD | Anzahl (N) | WR (%)            | Freiburger Zahlen (%) | Freiburger Einsilber (%) | OLSA in Ruhe (%)  | OLSA im Störgeräusch (dB SNR) |
|-------------|------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Gesamt      | 43         | $65,72 \pm 13,32$ | $95,35 \pm 9,15$      | $63,83 \pm 23,30$        | $79,40 \pm 22,34$ | $-0,44 \pm 4,08$              |
| Gruppe 1    | 10         | $59,69 \pm 13,92$ | $94,50 \pm 10,12$     | $50,33 \pm 26,85$        | $67,63 \pm 29,38$ | $-1,00 \pm 1,61$              |
| Gruppe 2    | 12         | $73,62 \pm 5,50$  | $97,27 \pm 7,93$      | $74,00 \pm 22,60$        | $87,08 \pm 13,85$ | $0,63 \pm 5,58$               |
| Gruppe 3    | 21         | $64,06 \pm 14,50$ | $95,48 \pm 9,73$      | $64,29 \pm 20,07$        | $79,50 \pm 22,35$ | $-1,40 \pm 2,94$              |

**Tabelle 4:** Übersicht der errechneten Mittelwerte und Standardabweichungen aller sprachaudiometrischen Tests sowie der Worterkennungsrates

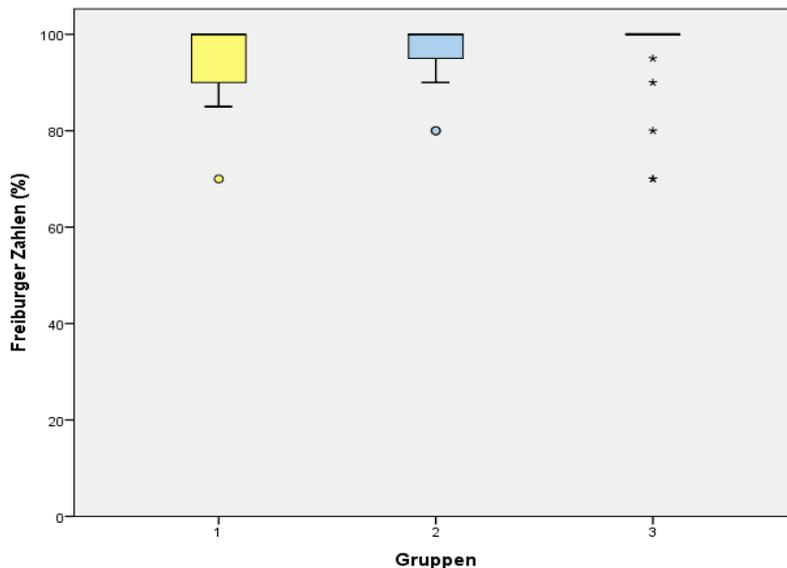
## Vergleich der Ergebnisse der einzelnen audiometrischen Untersuchungen zwischen den Gruppen

### Freiburger Zahlen

|          | Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 |
|----------|----------|----------|----------|
| Gruppe 1 | -        | 0,801    | 0,721    |
| Gruppe 2 | 0,801    | -        | 0,98     |
| Gruppe 3 | 0,721    | 0,98     | -        |

**Tabelle 5:** p-Werte der Freiburger Zahlen zwischen den Gruppen

Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich des Freiburger-Zahlen-Tests.



**Abbildung 10:** Darstellung der Ergebnisse der Gruppen beim Freiburger-Zahlen-Test

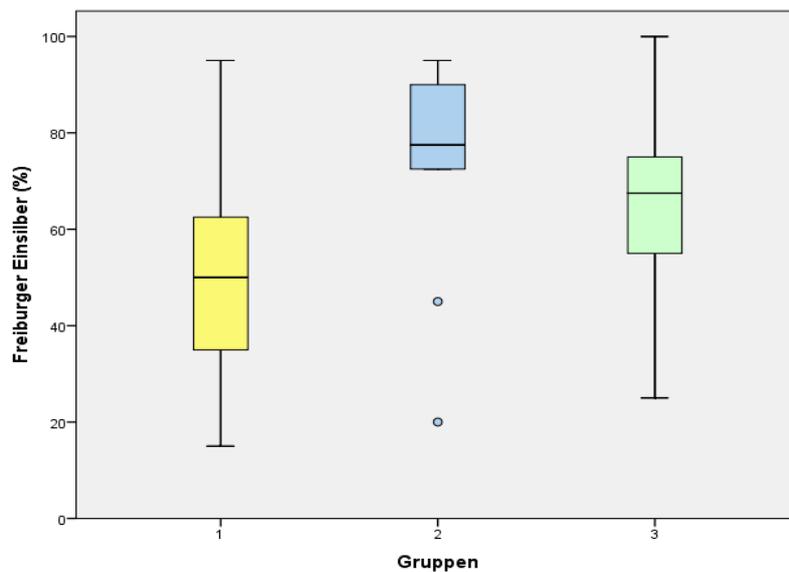
Die Verständlichkeit der Zahlen war insgesamt bei allen 3 Gruppen sehr hoch, jedoch zeigte auch hier die Gruppe 2 im Mittel die höchste Verständlichkeit der Zahlen mit  $97,27\% \pm \text{SD } 7,93\%$  im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen (Gruppe 1:  $94,50\% \pm 10,12\%$ ; Gruppe 3:  $95,48\% \pm 9,73\%$ ).

## Freiburger Einsilber

|          | Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 |
|----------|----------|----------|----------|
| Gruppe 1 | -        | 0,062    | 0,153    |
| Gruppe 2 | 0,062    | -        | 0,084    |
| Gruppe 3 | 0,153    | 0,084    | -        |

**Tabelle 6:** p-Werte der Gruppen beim Freiburger-Einsilber-Test (Mann-Whitney U Test)

Es bestand allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen beim Freiburger-Einsilber-Test.



**Abbildung 11:** Darstellung der Ergebnisse der Gruppen beim Freiburger-Einsilber-Test

Gruppe 2 erzielte den höchsten Wert für die Verständlichkeit der Einsilber mit 74,00%  $\pm$  SD 22,60% und höchste WR-Werte 73,62%  $\pm$  SD 5,50%. Gruppe 1 erreichte die niedrigsten Werte bei den Einsilber-Ergebnissen (50,33%  $\pm$  26,85%), ähnlich wie bei den WR-Ergebnissen (Gruppe 1: 59,69%  $\pm$  13,92%).

Gruppe 3 erzielte bei den Freiburger Einsilbern und der WR jeweils mittlere Ergebnisse (Einsilber: 64,29% ± 20,07%; WR: 64,06% ± 14,50%).

### OLSA in Ruhe

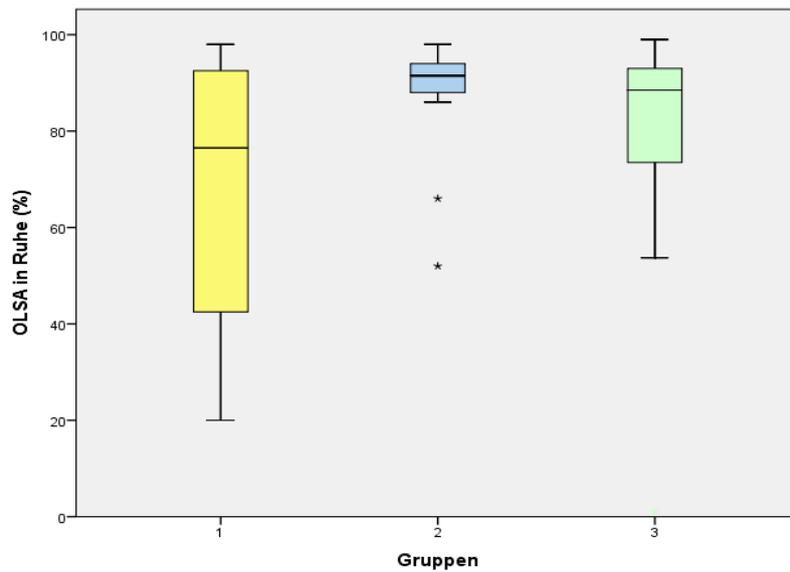
|          | Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 |
|----------|----------|----------|----------|
| Gruppe 1 | -        | 0,122    | 0,373    |
| Gruppe 2 | 0,122    | -        | -        |
| Gruppe 3 | 0,373    | 0,205    | -        |

**Tabelle 7:** p-Werte der OLSA in Ruhe Ergebnisse innerhalb der Gruppen

In der folgenden Grafik (Abbildung 12) wird die Verteilung der Verständlichkeit der Sätze in Ruhe innerhalb der Gruppen deutlich gemacht.

Die Patienten der Gruppe 1 (MW 67,63% ± SD 29,38%) erreichten ein niedrigeres Ergebnis als die Patienten der Gruppe 2, welche im OLSA in Ruhe-Test die besten Resultate erzielten (MW 87,08% ± SD 13,85%).

Das Ergebnis der Gruppe 3 (MW 79,50% ± SD 22,35%) war höher als dasjenige der Gruppe 1, jedoch weiterhin niedriger als das Ergebnis der Gruppe 2. Innerhalb der Gruppen war allerdings kein signifikanter Unterschied zu beobachten.



**Abbildung 12:** Darstellung der Ergebnisse der Gruppen beim OLSA in Ruhe-Test

### OLSA im Störgeräusch

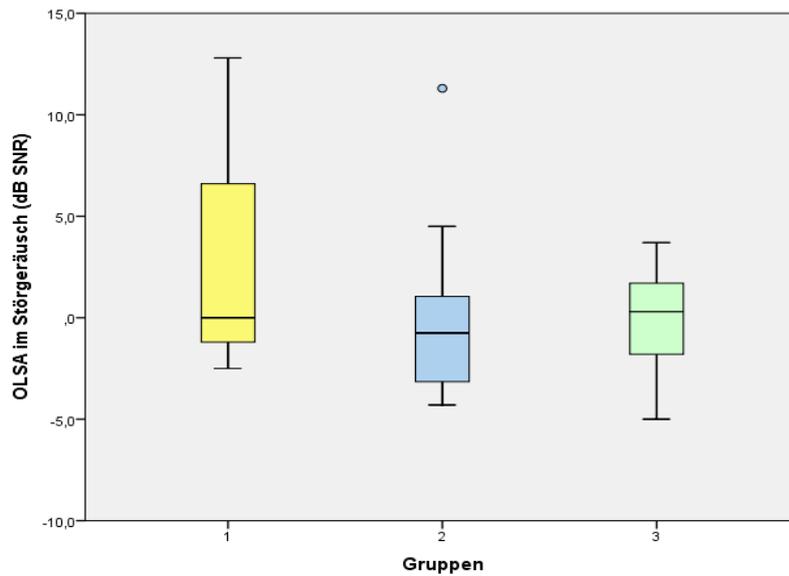
|          | Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 |
|----------|----------|----------|----------|
| Gruppe 1 | -        | 0,303    | 0,599    |
| Gruppe 2 | 0,303    | -        | 0,47     |
| Gruppe 3 | 0,599    | 0,47     | -        |

**Tabelle 8:** p-Werte der OLSA im Störgeräusch-Ergebnisse innerhalb der Gruppen

Neben der Durchführung des OLSA in Ruhe wurde auch der OLSA im Störgeräusch durchgeführt, um das Sprachverstehen unter Alltagsbedingungen zu prüfen.

Bei der Untersuchung auf Unterschiede in Bezug auf die Verständlichkeit der Oldenburger Sätze im Störschall ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

Der p-Wert lag stets  $> 0,05$ .



**Abbildung 13:** Darstellung der Test-Ergebnisse der Gruppen beim OLSA im Störgeräusch

Hier ist zu beachten, dass ein niedrigerer Wert ein besseres Ergebnis angibt (anders als bei den übrigen Sprach- und Hörtests).

### OLSA im Störgeräusch

| MW±SD    | (dB SNR)     |
|----------|--------------|
| Gruppe 1 | -1,00 ± 1,61 |
| Gruppe 2 | 0,63 ± 5,58  |
| Gruppe 3 | -1,40 ± 2,94 |

**Tabelle 9:** OLSA im Störgeräusch

#### Legende:

dB SNR (Signal Noise Ratio) = Signal Rausch Verhältnis/Signal Rausch Abstand = Differenz von Signal und Störpegel in dB S/N

Erläuterung: je negativer der Wert, desto mehr Rauschen im Verhältnis zum Signal und desto besser die Verständlichkeit der Sätze im Rauschen

Im Vergleich zu den anderen Gruppen ist das Sprachverstehen der Sätze im Störgeräusch bei Gruppe 3 mit -1,40 dB am besten. Hier ist zu beachten, dass bei den BoxPlots der Median angegeben ist, wohingegen hier der Mittelwert gezeigt wird.

#### 4.4 Vergleich der Qualität der Sprachproduktion mit den sprachaudiometrischen Ergebnissen

| <b>Worterkennungsrate<br/>WR<br/>N=43</b> | <b>Freiburger<br/>Zahlen</b> | <b>Freiburger<br/>Einsilber</b> | <b>OLSA in<br/>Ruhe</b> | <b>OLSA im<br/>Störgeräusch</b> |
|---|------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Korrelationskoeffizient                   | 0,041                        | <b>0,295</b>                    | 0,186                   | -0,174                          |
| p-Wert                                    | 0,397                        | <b>0,030</b>                    | 0,125                   | 0,158                           |
| N (Anzahl)                                | 43                           | 41                              | 40                      | 35                              |

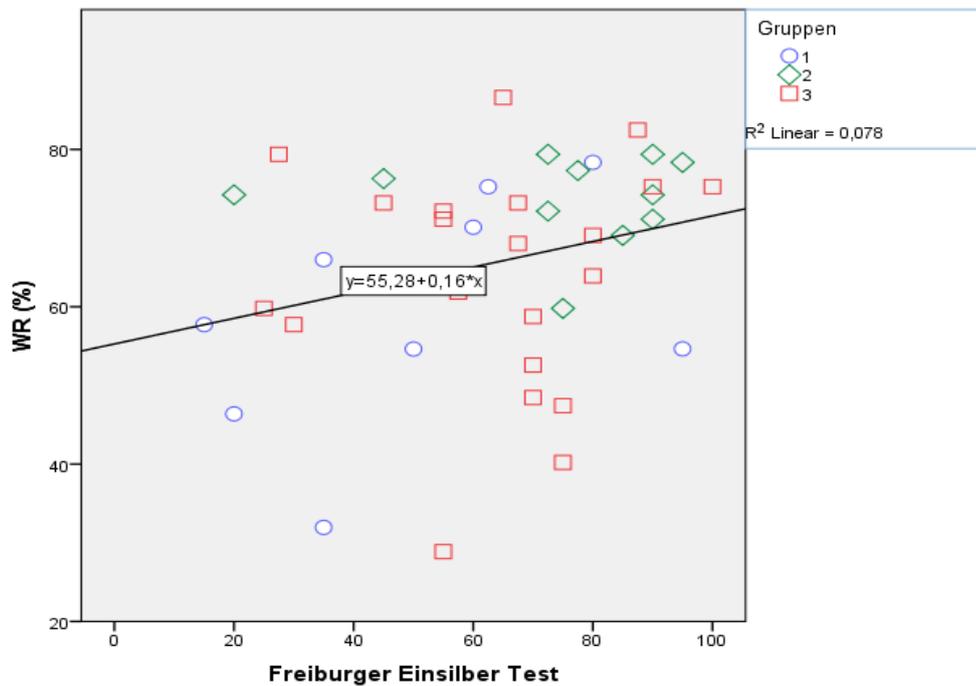
**Tabelle 10:** Spearmans Rangkorrelation zwischen der WR und den Ergebnissen der sprachaudiometrischen Tests (einseitige Signifikanz)

| <b>MW ± SD</b> | <b>WR (%)</b> | <b>Freiburger<br/>Zahlen (%)</b> | <b>Freiburger<br/>Einsilber<br/>(%)</b> | <b>OLSA in<br/>Ruhe (%)</b> | <b>OLSA im<br/>Störgeräusch<br/>(dB SNR)</b> |
|----------------|---------------|----------------------------------|---|-----------------------------|--|
| Gesamt         | 65,72±13,32   | 95,35±9,15                       | 63,83±23,30                             | 79,40±22,34                 | -0,44±4,08                                   |

**Tabelle 11:** Auflistung der WR, Freiburger Zahlen & Einsilber, OLSA in Ruhe & Störgeräusch

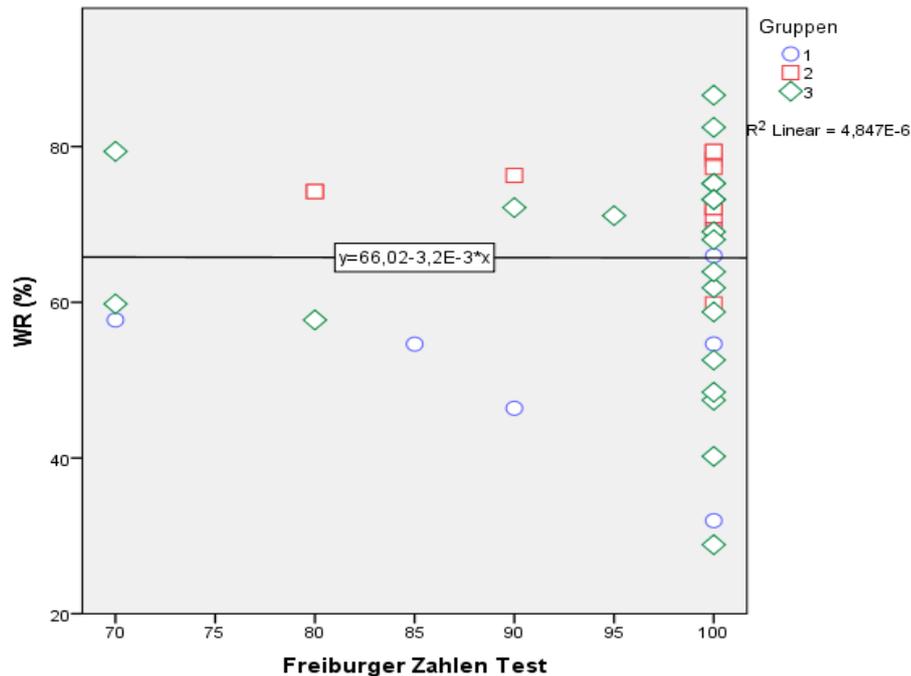
## Korrelation zwischen der WR und den Freiburger Einsilbern

Wie aus der Tabelle zu erkennen ist, besteht zwischen der Worterkennungsrate und dem Freiburger Einsilber Sprachverständlichkeitstest ein signifikanter Zusammenhang ( $p=0,030$ ).



**Abbildung 14:** Korrelation der Worterkennungsrate (in %) mit den Freiburger Einsilber Test-Ergebnissen (in %)

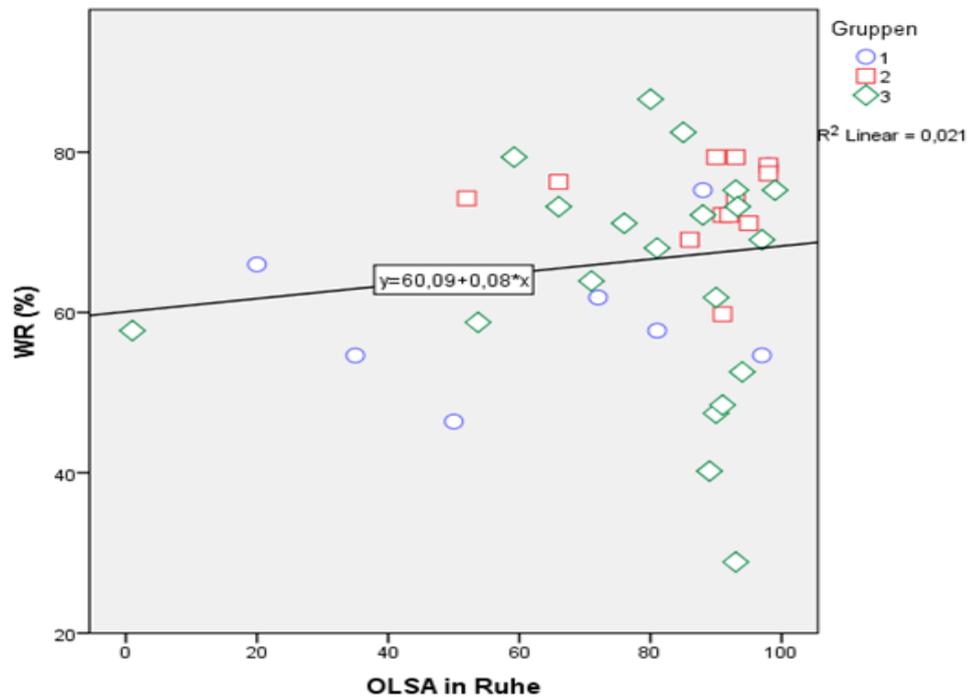
## Korrelation zwischen der WR und den Freiburger Zahlen



**Abbildung 15:** Korrelation der Worterkennungsrate (in %) mit den Ergebnissen der Freiburger Zahlen (in %)

Beim Freiburger Zahlen Test wurden im Durchschnitt aller Patienten ( $n=43$ )  $95,35\% \pm$  SD  $9,15\%$  der Zahlen verstanden. Die Worterkennungsrate lag im Durchschnitt bei  $65,72\% \pm$  SD  $13,32\%$ . Ein signifikanter Zusammenhang lag hier nicht vor ( $p=0,397$ ). Aus der Abbildung 15 ist zu erkennen, dass die Patienten insgesamt bei den Freiburger Zahlen Test-Ergebnissen gute Resultate erzielten. Zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass die Patienten im Allgemeinen beim Freiburger Zahlen Test am besten abschneiden, wie es auch in dieser Untersuchung der Fall war. Bei der geringen Streuung der Ergebnisse war ein relevanter Unterschied zwischen den Gruppen nicht zu erwarten.

## Korrelation zwischen der WR und dem OLSA in Ruhe

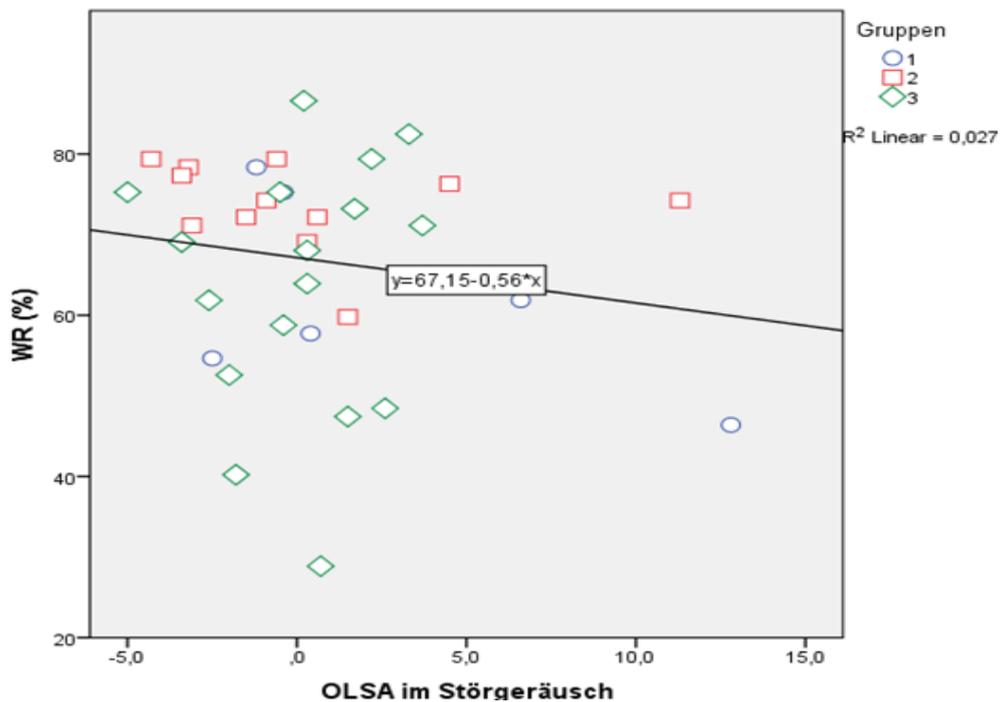


**Abbildung 16:** Korrelation der Worterkennungsrates (in %) mit den OLSA in Ruhe Test-Ergebnissen (in %)

Die Patienten erreichten  $65,72\% \pm \text{SD } 13,32\%$  in der WR und  $79,40\% \pm \text{SD } 22,34\%$  bei den Oldenburger Satztest Ergebnissen.

Auffallend ist, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen der WR und den Oldenburger Sätzen in Ruhe vorliegt ( $p=0,125$ ).

## Korrelation zwischen der WR und dem OLSA im Störgeräusch



**Abbildung 17:** Korrelation der Worterkennungsrate (in %) mit den OLSA im Störgeräusch Test-Ergebnissen (in dB SNR)

Die WR aller Patienten lag im Mittel bei  $65,72\% \pm \text{SD } 13,32\%$ . Die Verständlichkeit der Sätze im Oldenburger Satztest im Störschall lag im Mittel bei  $-0,44$  dB SNR.

Wie aus der Grafik ersichtlich ist, verläuft die Gerade gegenläufig zu den anderen Ergebnissen, da im Gegensatz dazu ein niedriger Wert bei dem Oldenburger Satztest im Störgeräusch ein besseres Sprachverstehen anzeigt. Zwischen der WR und den Ergebnissen der Oldenburger Sätze im Störgeräusch zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang ( $p=0,158$ ).

## 5 Diskussion

Zur Evaluation des Behandlungsergebnisses nach der Cochlea Implantat Versorgung zählen regelmäßige audiometrische Untersuchungen, die vor allem das Sprachverstehen als wichtigste Zielgröße der Hörverbesserung beinhalten sollen. Untersuchungen des Effektes der CI-Versorgung auf die Sprachproduktion durch das verbesserte Hören sind in den Leitlinien nicht gefordert. In den Leitlinien wird aber die Evaluation der Sprech- und Sprachentwicklung sowie der kommunikativen Fähigkeiten aufgeführt (Leitlinie 2012).

Im Allgemeinen erfordert die postoperative Basis- und Folgetherapie die Anpassung des Sprachprozessors sowie eine Hör/Sprachtherapie. Zudem sind für eine erfolgreiche Versorgung die technischen Upgrades und Kontrollen notwendig.

Die Erstanpassung in der Basistherapie fokussiert sich auf die Vermittlung erster Höreindrücke wie Geräusche und Klänge. Dazu erfolgen die computergestützte Anpassung der Technik und die Durchführung audiometrischer Messungen. In der Folgetherapie wird die Sprachwahrnehmung mithilfe einzelner Wörter und kurzer Sätze vertieft, bis ein offenes Sprachverstehen unter Alltagsbedingungen erzielt wird. Bei Erwachsenen wurde bislang der Effekt der CI-Versorgung auf die Sprachproduktion nur wenig erfasst. Dies mag an der aufwändigen Methodik der Sprachbewertung liegen, aber auch daran, dass keine standardisierten Verfahren zur Bewertung der Sprachproduktion bei CI-Trägern vorliegen (Leitlinie 2012).

## 5.1 Diskussion der Patientendaten

Die an der Studie teilnehmenden 43 Patienten waren alle länger als 3 Monate mit einem CI versorgt und wurden entsprechend dem Versorgungszeitpunkt (früh/spätversorgt) sowie der prä- oder postlingualen Ertaubung drei Gruppen zugeteilt. Im Durchschnitt waren die Patienten am Tag der Cochlea Implantation 49 Jahre alt. Hinsichtlich der Altersverteilung innerhalb der Gruppen bei CI-Versorgung gehörten zu Gruppe 1 der prälingual Ertaubten und Spätversorgten die jüngsten Patienten mit durchschnittlich 37 Jahren. Auch zum Zeitpunkt der Implantation waren sie mit 31 Jahren die jüngsten.

In Gruppe 2, zu denen die postlingual und frühversorgten Patienten gehörten, lag das durchschnittliche Alter bei 57 Jahren, das Alter bei der Implantation lag bei 50 Jahren. Diese Gruppe war also bei der Implantation wie auch zum Zeitpunkt der Sprachaufnahmen und Sprachtests durchschnittlich älter als Gruppe 1. Die dritte Gruppe setzte sich aus den im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen ältesten Patienten zusammen. Im Mittel waren diese postlingual und spätversorgten Patienten 61 Jahre alt und bei der Cochlea Implantation 56 Jahre alt. Diese Altersverteilung erklärt sich aus der Geschichte der Cochlea Implantat Versorgung: in Deutschland wurden Cochlea Implantate erst ab 1981 eingesetzt – bei Kindern noch später. Die gehörlos aufgewachsenen jungen Erwachsenen lassen sich selten noch mit einem CI versorgen, da die Erfolgsaussichten hinsichtlich des Sprachverstehens eingeschränkt sind. Somit ist die Anzahl der erwachsenen prälingual ertaubten Studienteilnehmer, die mit einem CI versorgt sind, deutlich niedriger als die der erwachsenen postlingual Ertaubten.

Aufgrund des demographischen Wandels mit relativ mehr Senioren, die eher von einer ausgeprägten Schwerhörigkeit betroffen sind, ist der Anteil der älteren Patienten im Patientenkollektiv entsprechend groß. Hinsichtlich der CI-Tragedauer waren die Patienten aus Gruppe 1 und 2 etwa gleich lange mit einem CI versorgt (7 Jahre), während Gruppe 3, welche aus dem ältesten Patientenkollektiv bestand, eine kürzere CI-Tragedauer von 5 Jahren aufwies.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich der CI-Tragedauer konnte nicht aufgezeigt werden.

## 5.2 Bewertung der neuen Methode zur Messung der Sprachqualität

In dieser Studie wurde zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit von Cochlea Implantat-Trägern erstmals eine automatische objektive und quantitative Methode eingesetzt. Mittels automatischer Spracherkennung wurde in diesem Fall nicht einfach nach dem wahrscheinlichsten Wort gesucht, das vom Probanden genannt wurde, sondern ein Abgleich mit dem Zielwort zur Berechnung der Verständlichkeit durchgeführt. Damit kann eine Aussage über die Qualität der Sprachproduktion getroffen werden.

Im Allgemeinen werden heutzutage Verfahren der automatischen Spracherkennung in vielen verschiedenen Bereichen angewandt. Die Spracherkennungstechnik kann privat sowie auch beruflich als Diktiergerät genutzt werden (etwa bei Ärzten und Juristen). Die Qualität der Erkennung ist allerdings unterschiedlich.

Generell ist das Spracherkennungssystem von einigen Faktoren abhängig. Zum einen zählen dazu externe Faktoren wie Hintergrundgeräusche, die das Gesprochene übertönen (Gallwitz et al. 1999). Zum anderen gibt es bei der Qualität der Erkennung Faktoren, die vom Sprecher abhängen, aber auch vom Sprachinventar und von der Sprache, die sich aus gelesener Sprache und spontaner Sprache zusammensetzt. Weiterhin zählen die Perplexität oder Komplexität des Gesprochenen dazu. Der Einfluss der meisten Faktoren kann durch das Lesen eines Standardtextes in ruhiger Umgebung oder gar einzelner Wörter - wie auch in dieser Studie erfolgt - minimiert werden. Der Sprecher bleibt folglich einziger Einflussfaktor (Gallwitz et al. 1999; Windrich et al. 2008), wodurch eine Bewertung des Gesprochenen möglich wird.

Durch die Nutzung eines polyphonen Unigrammodells für die statistische Analyse gesprochener Sprache (Einbeziehung ko-artikulatorischer Effekte, Unabhängigkeit der Erkennung jedes Wortes vom vor- oder nachgenannten Wort) kann eine Bewertung der artikulatorischen Ausformung einzelner Wörter durchgeführt werden. Dieses Verfahren der objektiven Beurteilung der Sprachverständlichkeit wurde bereits bei anderen Ursachen von Sprechstörungen (Schuster et al. 2006), zum Beispiel bei Patienten nach Plattenepithelkarzinomen in der Mundhöhle (Windrich et al. 2008), bei Laryngektomierten mit tracheo-ösophagealer Ersatzstimme (Schuster et al. 2006), Kindern mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalt-Fehlbildung (Vogt et al. 2007; Schuster et al.

2006) sowie neurologischen Störungen bei erwachsenen Patienten erfolgreich eingesetzt (Orozco-Arroyave et al. 2014; Orozco-Arroyave et al. 2016). Die Bewertung durch das Spracherkennungssystem im Vergleich zur subjektiven Bewertung der Sprachverständlichkeit durch Experten zeigte in diesen Studien einen hochsignifikanten Zusammenhang (Schuster et al. 2006; Windrich et al. 2008). Somit eignet sich das automatische Spracherkennungssystem zur quantitativen Bewertung der Verständlichkeit bei Sprech- und Stimmstörungen. Das objektive und einfach anwendbare computergestützte Spracherkennungssystem kann zeit- und personalökonomisch zur Diagnostik von Sprechauffälligkeiten sowie zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit eingesetzt werden. Insbesondere kann damit objektiv eine Behandlungsnotwendigkeit festgestellt werden und auch die Veränderung der Sprachverständlichkeit nach einer Therapie oder im Rahmen einer Rehabilitationsmaßnahme bestimmt werden (Fischer et al. 2000).

### **5.3 Untersuchung des Sprachverstehens: Audiometrie**

Für die Bewertung des Sprachverstehens gibt es mehrere standardisierte Verfahren. Dazu zählt das Sprachverstehen von Einzelwörtern oder Sätzen in Ruhe oder bei Umgebungsgeräuschen. Der Freiburger Sprachverständlichkeitstest beinhaltet die Untersuchung des Mehrsilber- und Einsilberverstehens. Nach Müller-Deile (2009) wird der Freiburger Sprachverständlichkeitstest vor allem durchgeführt, um die Empfindlichkeit der Sprachprozessoren bei CI-Trägern zu überprüfen (Müller-Deile 2009). Dieser Test zählt zum festen Repertoire der postoperativen Erfassung des Behandlungsergebnisses nach der Cochlea Implantat Versorgung. Seine Wertigkeit wird auch durch diese Studie betont (siehe Gruppenvergleiche, Tabelle 5).

Schwieriger als das Zahlenverständnis ist für die CI-Träger das Verstehen im Störgeräusch und das Einsilberverstehen (Baumann et al. 2002). Die audiometrisch bestimmte Verständlichkeit der Zahlen war im Gesamten für alle drei Gruppen sehr hoch, jedoch zeigte auch hier die Gruppe 2 die höchste Verständlichkeit der Zahlen mit 97,27% im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen (Gruppe 1: 94,50%; Gruppe 3: 95,48%). Der nur geringe Unterschied zwischen den Gruppen mag auch auf die zu geringe Trennschärfe der Untersuchung hinweisen.

Der Oldenburger Satztest prüft das Satzverstehen bei CI-Trägern in Ruhe und im Störgeräusch. Durch die Struktur des Tests nimmt allerdings syntaktisches Wissen des Patienten Einfluss auf das Ergebnis. Bei fester Name-Verb-Zahl-Adjektiv-Objekt-Struktur der Sätze wird die Wahrscheinlichkeit, dass bestimmte Wortarten an einer bestimmten Stelle im Satz stehen, ebenso festgelegt wie morphologische Besonderheiten. So wird zum Beispiel bei einem Verb immer die Singular-Form im Präsens benutzt. Das Sprachverstehen dieses Tests fußt somit nicht nur auf der Wahrnehmung jedes Phonems, sondern beinhaltet auch semantisches und morphosyntaktisches Wissen.

Zusammengefasst verstanden die postlingual frühversorgten Teilnehmer im Freiburger Test 97,27% der Zahlen, 74% der Einsilber und 87% beim Oldenburger Satztest in Ruhe. Somit erreichten sie auch hier die besten Ergebnisse, verglichen mit den anderen beiden Gruppen.

Folglich zeigte sich, dass die Gruppe der postlingual Ertaubten und Frühversorgten den besten Sprachverständlichkeitsgrad so die besten Sprachverstehensleistungen aufwiesen. Dies war auch zu erwarten, da Ertaubungs- und Versorgungszeitpunkt im Vergleich zu den anderen Gruppen am günstigsten war. Hingegen wurde bei den prälingual Spätversorgten die schlechteste Sprachverständlichkeit festgestellt und im Vergleich zu den anderen Gruppen das am weitesten eingeschränkte Sprachverstehen.

Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich des Freiburger-Einsilber-Tests. Zwischen Gruppe 1 und 2 liegt ein Trend zum Unterschied ( $p=0,062$ ) vor. Gruppe 2 erzielte den höchsten Wert für die Verständlichkeit der Einsilber mit 74,00% und die höchsten WR-Werte mit 73,62%. Gruppe 1 erreichte die niedrigsten Werte bei den Einsilber-Ergebnissen mit 50,33% – ähnlich wie bei den WR-Ergebnissen mit 59,69%. Gruppe 3 erzielte bei den Freiburger Einsilbern 64,29% und 64,06% der WR. Tendenziell bestehen also bei postlingual Ertaubten, die rasch mit einem CI versorgt werden, die besten Ergebnisse hinsichtlich des Sprachverstehens in Ruhe.

Zudem lässt sich aus der Analyse der Daten erkennen, dass die Patienten insgesamt bei den Freiburger Zahlen Test-Ergebnissen sehr gut abschnitten, wie es auch in

anderen Studien der Fall ist. Die Versorgung mit Cochlea Implantaten kann also bei allen Gruppen zu einem guten Verstehen von Mehrsilbern führen. Auch die präoperative Versorgung einer Schwerhörigkeit oder Ertaubung hat Einfluss auf die Sprachproduktion und das Sprachverstehen. Bezogen auf das Sprachverstehen konnte dies auch von Lazard et al. (2012) nachgewiesen werden. Bei langer suffizienter Hörgeräteversorgung vor einer CI-Versorgung ist das Gehirn kontinuierlich Höreindrücken ausgesetzt. Diese auditorischen Inputs verlangsamten die pathologische Umstrukturierung der Hörbahnen und der auditorischen Rückkopplung auf die Sprachproduktion, welche durch den Hörverlust hervorgerufen wird.

Auch bei Tyler und Summerfield (1996) zeigte eine längere Ertaubungsdauer bei postlingual ertaubten Patienten postoperativ ein schlechteres Ergebnis bei der Sprachwahrnehmung mit dem CI (Tyler und Summerfield 1996). Entsprechend der DIVA Theorie kann man davon ausgehen, dass nach längerer Taubheit beziehungsweise bei unversorgter ausgeprägter Schwerhörigkeit zunächst ein verminderter Abgleich des Gehörten mit dem eigenen Sprechen oder ein vermindertes Wahrnehmen sprachlicher Feinheiten stattfinden. Später kommt eine Verminderung artikulatorischer Präzision hinzu.

Zeitpunkt und Dauer der Ertaubung haben nach unserer Studie unterschiedlichen Einfluss auf Sprachproduktion und Sprachverstehen. Zwischen der Gruppe 1, den prälingual und spätversorgten Patienten, die im Durchschnitt 37 Jahre alt waren, und der Gruppe 3, den postlingual und spätversorgten Patienten, die durchschnittlich 61 Jahre alt waren, ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p=0,375$ ). Hier war lediglich ein deutlicher Altersunterschied festzustellen, und die Gruppen unterschieden sich im Ertaubungszeitpunkt. Die WR-Werte unterschieden sich nur gering, jedoch schnitt Gruppe 3 etwas besser ab. Dies kann möglicherweise daran liegen, dass die Patienten, bei denen der Spracherwerb schon erfolgt ist – also eine „speech sound map“ angelegt worden war und die dann ertaubten – es leichter hatten, nach einer CI Versorgung wieder normal zu hören, zu verstehen und auch zu sprechen als Patienten, bei denen es vor abgeschlossenem Spracherwerb zu einem Verlust des Hörvermögens kam und zudem keine sofortige Versorgung stattfand. Hinsichtlich der Sprachwahrnehmung und des CI Verständnisses zeigten Bittencourt et al. (2012) in ihrer Studie, dass in sehr jungen Jahren implantierte Kinder im Vergleich zu anderen Kindern, die mit herkömmlichen Hörgeräten versorgt werden, ein altersgerechtes

Sprachverständnis und eine verständliche Sprache entwickeln können (Bittencourt et al. 2012).

Betrachtet man die Auseinandersetzung einiger Studien unter dem Gesichtspunkt der Frühversorgung, wird klar, dass prälingual ertaubte Kinder, die kongenital oder auf anderem Wege ertaubt sind und die in ihrem ersten Lebensjahr ein CI erhalten haben, dadurch bei der Entwicklung des Gehörs sowie bei der Sprachwahrnehmung profitieren. Jedoch ist die Verbesserung der Sprachwahrnehmung und die Entwicklung der Sprache nach der Implantation umso geringer, je länger die Zeitspanne zwischen dem Auftreten der Gehörlosigkeit und der CI-Versorgung ist. Bei prälingual ertaubten erwachsenen CI-Trägern hingegen liegt der Fokus hauptsächlich darin, ihnen eine durch wiedererlangtes Hören bessere Sprachwahrnehmung (Souza et al. 2011), Richtungshören und das Hören von Alarmsignalen z.B. im Straßenverkehr zu ermöglichen.

#### **5.4 Qualität der Sprachproduktion WR**

Die Messung der Qualität der Sprachproduktion (WR) zeigt eher heterogene Ergebnisse. Da es keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Tragedauer bei den drei Gruppen gibt, ist eine Abhängigkeit der WR von der Tragedauer in diesem Patientenkollektiv nicht wahrscheinlich. Einen signifikanten Unterschied hingegen scheinen der Beginn der Ertaubung und der Versorgungszeitpunkt auszumachen.

Während die prälingual spätversorgten Studienteilnehmer (Gruppe 1) schlechtere Ergebnisse mit einer WR von 59,69% erzielten, erreichten die postlingual frühversorgten Patienten (Gruppe 2) höhere Werte mit 73,62% Worterkennungsraten. Trotz längerer CI-Erfahrung der Gruppe 1 scheinen die vor dem Spracherwerb erworbene Ertaubung und die folgende Spätversorgung ungünstig für die Sprachproduktion zu sein. Es kann festgehalten werden, dass es einen Unterschied zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 gab, da sich diese beiden Gruppen hinsichtlich des Ertaubungszeitpunktes sowie des Versorgungszeitpunktes unterschieden. Patienten der Gruppe 1 waren vor dem Spracherwerb ertaubt und wurden erst spät mit einem

Cochlea Implantat versorgt. Es ist anzunehmen, dass es bei den Probanden der Gruppe 1 schon vor der Implantation Auffälligkeiten in der Sprachproduktion gab, welche auch nach der CI-Versorgung fortbestehen. Wie auch in der DIVA Theorie beschrieben, kommt es durch ein fehlendes auditives Feedback und durch länger bestehende Taubheit nicht zu einer adäquaten Bildung der „speech sound map“ und ebenso nicht zu einem korrekten Abgleich mit dem Gehörten. Das Hören mit einem CI und damit eine Verbesserung der „auditory state map“ sind allerdings auch nicht ausreichend, um die Artikulation zu normalisieren.

In der zweiten Gruppe ertaubten die Patienten erst nach dem Spracherwerb (postlingual), sie beherrschten somit schon vor der Ertaubung die Sprache und wurden zusätzlich innerhalb der ersten 2 Jahre nach der Ertaubung – was für das Sprachverstehen prognostisch günstig ist – mit dem Cochlea Implantat versorgt. Die Wahrscheinlichkeit einer drastischen Veränderung in der Sprachproduktion und nachfolgend im Sprachverstehen durch eine längere Hördeprivation ist bei postlingual ertaubten Patienten geringer als bei Patienten, die vor dem Spracherwerb ertaubten und spätversorgt wurden.

Auch zwischen der Gruppe 2 und 3, den postlingual frühversorgten und den postlingual spätversorgten Patienten bestand ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Sprachproduktion. Gruppe 2 erzielte eine WR von 73,63%, Gruppe 3 dagegen lediglich 64,06% ( $p=0,038$ ). Zu erwähnen ist hierbei, dass sich diese beiden Gruppen im Altersdurchschnitt der Patienten nur geringfügig unterschieden und auch in der CI-Tragedauer nur ein geringer Unterschied bestand. Die Sprachverständlichkeit und auch das Sprachverstehen waren bei den postlingual frühversorgten CI-Trägern besser. Dies lässt wiederum auf eine Empfehlung zur Frühversorgung bei postlingual ertaubten Erwachsenen schließen. Die Ergebnisse der Studie von Liker et al. (2007) beweisen ebenso die Wichtigkeit der frühen Diagnostik und Implantation (Liker et al. 2007). Eine längere Hördeprivation hat anhaltende Folgen auf die auditorische Rückkopplung sowie auf die Ausformung von Sprache. Auch in der Studie von Dawson et al. (1995), in welcher erfahrene Zuhörer zur Bewertung der Sprachverständlichkeit zum Einsatz kamen, wurden die Artikulation und die Sprachverständlichkeit bei CI-Trägern mit einer Tragezeit von mehr als 8 Jahren beurteilt. Hier zeigte sich ebenfalls

eine signifikante Steigerung der Sprachverständlichkeit und Artikulation postoperativ (Dawson et al. 1995).

Neben der Verbesserung der Stimmqualität werden auch die Verständlichkeit, die Sprachwahrnehmung und die Sprachproduktion bei prälingual Ertaubten sowie auch bei postlingual ertaubten Kindern und Erwachsenen durch die CI-Versorgung verbessert (Liker et al. 2007). Unterschiede der Artikulation bei prä- und postlingual Ertaubten wurden bereits zuvor beschrieben.

In der Studie von Neumeyer et al. (2015) wurden 2 Gruppen mit jeweils 5 jungen und 5 älteren CI-Trägern mit einer normalhörenden Kontrollgruppe gleichen Alters bezüglich der akustischen Vokalräume verglichen. Untersucht wurde, ob es einen Unterschied zwischen den CI-Sprechern und den normalen Sprechern bei der Produktion der Vokale gibt. Beim Lesen von Standardwörtern konnte bei den CI-Sprechern eine längere Vokaldauer sowie Veränderungen am Vokalraum festgestellt werden, die im Zusammenhang mit der veränderten auditiven Rückkopplung stehen können. Beim Vergleich der CI-Sprecher mit den normalhörenden Sprechern vermuteten Neumeyer et al. (2015) bei der Bildung von Vokalen einen größeren Unterschied zwischen der jüngeren und der älteren Gruppe. Dies liegt daran, dass die jüngeren CI-Sprecher seit der frühen Kindheit schwerhörig sind, während die älteren CI-Träger normal gehört hatten und die meiste Zeit ihres Lebens eine unbeeinträchtigte auditorische Rückmeldung erfahren hatten.

Auch bei postlingual ertaubten Erwachsenen kommt es neben einem Rückgang des Sprachverstehens zu Sprachauffälligkeiten. Leder und Spitzer untersuchten die Sprachproduktion von plötzlich ertaubten erwachsenen Männern hinsichtlich mehrerer Variablen. Dazu wurden 15 bilateral normalhörende Zuhörer eingesetzt, welche die Intonation, die Tonlage, die Tonhöhe, die Nasalität, die Dauer der Vokale, Aussprache und Intensität überprüften. Ihre Studie zeigte, dass auditive Eindrücke zur Erhaltung von akkurater Bildung von Sprache und Stimme notwendig sind. Im Vergleich zu gleichaltrigen normalhörenden Erwachsenen war bei den ertaubten erwachsenen Männern die Sprechfrequenz signifikant höher, es zeigte sich eine signifikant stärkere Intensität und die Sprechgeschwindigkeit war langsamer (Leder und Spitzer 1990).

Bei der Untersuchung von Leder und Spitzer war es den Zuhörern möglich, die ertaubten Patienten von den Normalhörenden zu unterscheiden. Sie stellten signifikante Unterschiede hinsichtlich der Artikulation und der Stimmqualität zwischen den ertaubten und den normalhörenden Probanden fest. Letztlich kamen sie zu dem Schluss, dass eine Hörerhaltung für hochgradig Schwerhörige von Vorteil ist, weil dadurch die Sprachproduktion erhalten und verbessert werden kann. In Leders und Spitzers Studie konnten die Zuhörer mit einer 97%igen Genauigkeit die normalhörenden Probanden von den ertaubten unterscheiden und daraufhin entscheiden, ob eine Therapie notwendig ist.

Das kindliche reifende Nervensystem verliert einiges an Plastizität, wenn das Kind älter wird. Kinder, die mit über 8 Jahren implantiert wurden, entwickelten langsamere Sprachproduktionsfähigkeiten als Kinder, die in jüngeren Jahren implantiert wurden (Blamey et al. 2001). In der Studie von Connor et al. (2000) erweiterten prälingual Ertaubte, welche erst in der Grundschule mit einem CI versorgt wurden, ihr Vokabular deutlich langsamer als Kinder, die schon in der Vorschule implantiert wurden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Qualität der Sprachproduktion steigert, je jünger die Kinder bei der Implantation sind bzw. je kürzer die Ertaubungsdauer ist (Connor et al. 2000). Wie in unserer Studie, in der die Frühversorgten die beste Worterkennungsrate erreichten, erzielten auch in der Studie von Connor et al. (2000) die frühversorgten Kinder bessere Ergebnisse in der Sprachproduktion als die spätversorgten Kinder.

## **5.5 Sprachproduktion (WR) und Sprachverstehen (audiometrische Untersuchungen)**

Entsprechend dem DIVA-Modell könnte man einen engen Zusammenhang zwischen der Hörleistung und der Sprachproduktion erwarten. Es zeigte sich aber lediglich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der WR und den Ergebnissen des Freiburger Einsilber-Tests. Die anderen Ergebnisse der sprachaudiometrischen Tests wie die Freiburger Zahlen (Mehrsilber), die Ergebnisse des OLSA in Ruhe und im Störgeräusch korrelieren nicht mit der Worterkennungsrate. Es zeigte sich in unserer Studie also kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen diesen drei Variablen und der Qualität der Sprachproduktion.

Bei der Betrachtung der verschiedenen audiometrischen Verfahren zeigten sich erhebliche Unterschiede, die oben bereits diskutiert wurden. Der Freiburger Zahlen Test zeigte bei allen 3 Gruppen relativ hohe Werte. Er mag zwar das Wortverstehen in engen lexikalischen Grenzen gut abbilden, zeigt aber eine zu geringe Trennschärfe, als dass ein Zusammenhang zur Sprachproduktion und auch zur Güte der auditiven Rückkopplung stringent wäre. So wird dieser Test eher selten im Vordergrund stehen, wenn es um die Bewertung des Sprachverstehens nach der CI-Versorgung geht. Im Gegensatz dazu genießt der Freiburger Einsilber Test einen hohen Stellenwert, auch wenn die Testwörter nicht mehr uneingeschränkt den aktuell gebräuchlichen Wortschatz abbilden. Beim Freiburger Einsilber-Test „zählt“ jeder Laut: wenn nur ein einziges Phonem nicht exakt verstanden wird, kann sich die Wortbedeutung völlig ändern. Beispiele dafür sind die Wörter „Bau“ und „Baum“ oder „Ei“ und „Eis“. Eine exakte phonetische Analyse des Gehörten steht daher nachweislich im Zusammenhang mit der präzisen Wiedergabe bei der Artikulation.

Dieses Ergebnis wird auch durch die DIVA Theorie untermauert. Für eine adäquate Repräsentation von Phonemen in der „speech sound map“ und den Abgleich mit der eigenen Artikulation ist ein exakter auditorischer Input nötig. Für die Abbildung des Sprachverstehens im Alltag misst man Satztests eine ebenso hohe Bedeutung wie Einsilber- und Mehrsilbertests bei. Ein Satztest beinhaltet natürlich auch linguistische Information, die für das Satzverständnis förderlich sein kann. So ist zum Beispiel die Struktur eines Satzes festgelegt und folgt im OLSA einem festen Schema: Subjekt, Verb, Zahlwort, Adjektiv, Objekt. Allein aufgrund dieser Struktur kann das

Sprachverstehen erleichtert werden. Hinzu kommt ein reduzierter Wortschatz von je 10 Wörtern für jeden Satzbestandteil, der in der zufälligen Anordnung zwar eine sehr große Zahl verschiedener Sätze zulässt, für den erfahrenen Hörer aber doch noch leicht Rückschlüsse auf die möglichen Wörter an einer bestimmten Satzposition zulassen. Die Einbeziehung linguistischen Wissens in das Sprachverstehen mag daher für die Überprüfung des Sprachverstehens unter Alltagsbedingungen sinnvoll sein, eignet sich aber wenig zur Einschätzung der exakten auditiven Repräsentation von Phonemen und deren Auswirkungen auf phonetische Kompetenzen.

## **5.6 Einflussfaktoren**

Das Sprachverstehen kann nicht nur durch die Hörfähigkeit, sondern auch durch verschiedene andere Faktoren beeinflusst werden. Zu nennen sind das Alter, Konzentration und Aufmerksamkeit sowie kognitive Fähigkeiten. Zudem können die Sprachverständlichkeit und das Sprachverstehen durch weitere Faktoren wie zum Beispiel das Implantationsalter, den Zeitpunkt der Versorgung, den Beginn der Schwerhörigkeit, die Tragedauer des CI, die Ertaubungsdauer, Alter, Geschlecht und Ätiologie beeinflusst werden (Lazard et al. 2012).

Des Weiteren werden endogene und exogene Faktoren vermutet, welche das Ergebnis nach der Implantation beeinflussen können. Zu diesen gehören beispielsweise die familiäre Unterstützung, die kognitiven Funktionen der Kinder beim Spracherwerb sowie vorsprachliche und nichtverbale Kompetenzen (Liker et al. 2007). Gehörleistung und Gehörentwicklung sind vom Lebensalter und von der Dauer der Taubheit abhängig (Bittencourt et al. 2012). In der Literatur werden weitere mögliche Einflussfaktoren diskutiert. Bei Liker et al. (2007) wirken sich das Alter bei der Implantation und die CI-Tragedauer auf die Resultate der Cochlea Implantation aus (Liker et al. 2007). Dies ließ sich in unserer Studie allerdings so nicht nachweisen.

## 6 Zusammenfassung

In dieser Studie wurde die Verständlichkeit von Cochlea Implantat-Trägern erstmals mit Hilfe eines objektiven automatischen Spracherkennungssystems quantifiziert. In die Studie waren 43 Patienten einbezogen. Die Patienten wurden entsprechend dem Beginn ihrer Ertaubung sowie dem Versorgungszeitpunkt drei Gruppen zugeteilt. So konnte die Verständlichkeit auch innerhalb der Gruppen verglichen werden. Die gemessene Worterkennungsrate WR diente als Maß für den Grad der Sprachverständlichkeit. Damit konnte die Sprechqualität, das heißt die Ausformung von Wörtern, beurteilt werden (Vogt et al. 2007).

Eingeschränktes Hörvermögen kann Störungen der Verständlichkeit und der Sprachproduktion hervorrufen. Der Einsatz von Cochlea Implantaten stellt eine effektive Methode zur Behandlung von Schwerhörigkeit dar und bietet somit eine vielversprechende Alternative zur Versorgung mit Hörgeräten. Da die Sprachentwicklung vom Hörvermögen abhängt, können ein eingeschränktes Hörvermögen oder dessen Verlust für den Betroffenen schwerwiegende Folgen haben. Verminderte Sprachverständlichkeit, Sprachproduktion oder Sprachverstehen können zu einer privaten und beruflichen Einschränkung bis hin zur sozialen Isolation führen.

Trotz guten Hörerfolges bleibt die Rehabilitation und Diagnostik von Sprachauffälligkeiten nach der Cochlea Implantation ein häufiges Problem. Zur künftigen Diagnostik und Verbesserung von Sprachproduktion und Sprachverständlichkeit nach der Operation sind geeignete Maßnahmen im Rahmen der Nachsorge von großer Bedeutung.

Ziel dieser Studie war es, den Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit – objektiviert durch eine automatische computerbasierte Spracherkennungstechnik – und dem Sprachverstehen bei Patienten nach Cochlea Implantation zu untersuchen. Da es sich in dieser Studie um eine moderate Anzahl an Probanden handelte, sind zur Unterstützung der Ergebnisse weitere Studien mit einer größeren Anzahl von Patienten notwendig.

Zwischen dem Verständlichkeitsgrad und den Ergebnissen der sprachaudiometrischen Tests besteht ein signifikanter Zusammenhang im Hinblick auf die WR und den Freiburger Einsilber Test. Es lässt sich eine deutliche Verknüpfung zwischen den korrekt erkannten und ausgesprochenen Wörtern und den im Freiburger Test verstandenen Einsilbern darstellen. Die anderen Faktoren zeigten keinen Zusammenhang auf.

In unserer Studie gab es weiterhin signifikante Unterschiede in der WR zwischen den Gruppen, die offensichtlich auf den Ertaubungs- und Versorgungszeitpunkt der einzelnen Patienten zurückzuführen sind. Aus den Ergebnissen der Studie wird klar, dass frühversorgte Patienten eine bessere Sprachproduktion aufweisen. So leistet diese Studie einen Beitrag zur Forschung und bestätigt die schon bewiesenen Thesen einer sinnvollen Frühversorgung mit einem CI und einer Nachsorge. Zudem wird durch diese durchgeführte Studie der schon in anderen Studien bewiesene Zusammenhang zwischen dem Hören und der Sprachverständlichkeit und Sprachproduktion bestätigt.

Die Ergebnisse dieser Studie weisen auch auf die Bedeutung rehabilitativer Maßnahmen hin: Nach der Cochlea Implantation ist die Rehabilitation ein entscheidender Faktor für den Erfolg der Operation. Logopädie, die korrekte Einstellung des Sprachprozessors sowie die Nachuntersuchungen zur Prüfung der Sprachverständlichkeit sowie des Sprachverstehens gehören dazu. Die Operation allein ist also nicht ausreichend; vielmehr ist eine konsequente Weiterarbeit, vorzugsweise in einem CI-Zentrum, erforderlich. Nach der Cochlea Implantation ist in die Nachuntersuchungen ein ganzes Team integriert, zu dem Audiometristen und Ingenieure ebenso wie Sprachtherapeuten gehören. Regelmäßige Maßnahmen zur Verbesserung der Sprachwahrnehmung und der Sprachproduktion sind fester Bestandteil der Rehabilitation. Das objektive Spracherkennungssystem kann neben dem Einsatz sprachaudiometrischer Verfahren bei der Planung rehabilitativer Maßnahmen einen wichtigen Beitrag leisten und erweiterte Untersuchungen der Sprachqualität von CI-Trägern ermöglichen.

## 7 Literaturverzeichnis

- Aschendorff A., Klenzner T., Laszig R. (2005) Deafness after bacterial meningitis: an emergency for early imaging and cochlear implant surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 133(6), 995-996
- Baumann U., Eßer B., Wechtenbruch J., Schorn K. (2002) Sprachverstehen mit Cochlea Implantat bei Versorgung nach dem sechzigsten Lebensjahr, 5. DGA Jahrestagung
- Bittencourt A. G., Della Torre A. A. G., Bento R. F., Tsuji R. K., Brito R. (2012) Prelingual deafness: Benefits from cochlear implants versus conventional hearing aids. *Int. Arch. Otorhinolaryngol.* 16(3), 387-390
- Blamey P. J., Barry J. G., Jacq P. (2001) Phonetic inventory development in young cochlear implant users 6 years postoperation. *J Speech Lang Hear Res*, 44(1), 73-79
- Blume S. S. (1999) Histories of cochlear implantation. *Soc Sci Med*, 49(9), 1257-1268
- Boons T., De Raeve L., Langereis M., PeeraernL., Wouters J., van Wieringen A. (2013a) Expressive vocabulary, morphology, syntax and narrative skills in profoundly deaf children after early cochlear implantation. *Res Dev Disabil. Jun*; 34(6):2008-22
- Boons T., De Raeve L., Langereis M., Peeraer L., Wouters J., van Wieringen A. (2013b) Narrative spoken language skills in severely hearing impaired school-aged children with cochlear implants. *Res Dev Disabil. Nov*; 34(11) :3833-46
- Boothroyd A. (1985) Residual hearing and the problem of carryover in the speech of the deaf. In Lauter JL, ED. *Proceedins of the conference on the planning and production of speech in normal and hearing-impaired individuals: A seminar in honor of S. Richard Silverman.* ASHA Rep; 15:814

- Carlson M. L., Driscoll C. L., Gifford R. H., und McMenomey S. O. (2012) Cochlear implantation: current and future device options. *Otolaryngol Clin North Am*, 45(1), 221-248. doi: 10.1016/j.otc.2011.09.002
- Castellanos I., Kronenberger W.G., Beer J., Henning S.C., Colson B.G., Pisoni D.B. (2014) Preschool speech intelligibility and vocabulary skills predict long-term speech and language out-comes following cochlear implantation in early childhood. *Cochlear Implants Int*; 15:200–10
- Chang Y. S., Moon I. J., Kim E. Y., Ahn J., Chung W. H., Cho Y. S. und Hong S. H. (2015) Social skills and developmental delay: importance in predicting the auditory and speech outcomes after cochlear implantation in children. *Acta Otolaryngol*, 135(2), 154-161
- Cohen N. L., Waltzman S. B., und Fisher S. G. (1993) A prospective, randomized study of cochlear implants. The Department of Veterans Affairs Cochlear Implant Study Group. *N Engl J Med*, 328(4), 233-237
- Cohen S. M., Labadie R. F., Dietrich M. S., und Haynes D. S. (2004). Quality of life in hearing-impaired adults: the role of cochlear implants and hearing aids. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 131(4), 413-422
- Connor Mc Donald C., Hieber S., Arts A.H., Zwolan T. A. (2000) Speech, Vocabulary, and the Education of Children Using Cochlear Implants: Oral or Total Communication? *Journal of Speech, Language and Hearing Research*. (43) 1185-1204
- Cremers C. W. und van Rijn P. M. (1991) Acquired causes of deafness in childhood. *Ann N Y Acad Sci*, 630, 197-202
- Dallos P. (1992) The active cochlea. *J Neurosci*, 12(12), 4575-4585
- Dawson P. W., Blamey P. J., Dettman S. J., Rowland L. C., Barker E. J., Tobey E. A., Busby P.A., Cowan R.C., Clark G. M. (1995) A clinical report on speech production of cochlear implant users. *Ear Hear*, 16(6), 551-561

Deutsche Cochlear Implant Gesellschaft e.V. (DCIG). 5. DCIG CI-Fachtagung Frankfurt am Main- Das Cochlea Implantat- Was es ist und wie es funktioniert. (Stand: 01. März 2016). Online-Quelle, abgerufen am: 24.01.2017 <http://dcig.de/informationen/>

Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e. V. (2012) Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e. V. Bonn - Cochlea-Implantat Versorgung und zentral-auditorische Implantate (Internet) 05/2012 (zitiert am 31.01.2017). URL: [http://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/017-071I\\_S2k\\_Cochlea\\_Implant\\_Versorgung\\_2012-05\\_01.pdf](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/017-071I_S2k_Cochlea_Implant_Versorgung_2012-05_01.pdf)

Diller G., Kinkel M., Kosmalowa J.M.K., Krahlucova B., Lehnhardt E., Lehnhardt M., Manrique M., Peralta F. Hörstörungen - pädagogische Möglichkeiten. Comenius 2.1 Aktion, Studienbrief 1 - Qualifikation von pädagogischen Fachkräften in der Hörgeschädigtenförderung (QESWHIC)

Downs M. P. und Silver H. K. (1972) The "A.B.C.D's" to H.E.A.R. Early identification in nursery, office and clinic of the infant who is deaf. Clin Pediatr (Phila), 11(10), 563-566

Ernst A., Battmer R.-D., Todt I. (2009) Cochlear Implant heute. Heidelberg, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, S. 27-28

Fischer M., Bachor E., Bagus H., Bauschulte S., Greis K., Kampmann D., Streicher B., Jahnke K. (2000) Ambulante Rehabilitation nach Cochlear-Implant-Versorgung 48:832–838 Springer-Verlag

Fortnum H. M., Summerfield A. Q., Marshall D. H., Davis A. C., und Bamford J. M. (2001) Prevalence of permanent childhood hearing impairment in the United Kingdom and implications for universal neonatal hearing screening: questionnaire based ascertainment study. BMJ, 323(7312), 536-540

Gallwitz F., Niemann H., Nöth E. (1999) Spracherkennung- Stand der Technik, Einsatzmöglichkeiten und Perspektiven. Wirtschaftsinformatik 41 (6): 538-547

- Goehl H. und Kaufman D. (1984) Do the effects of adventitious deafness include disordered speech? *J Speech Hear Disord*; 49:58-64
- Guenther F.H. (1994) A neural network model of speech acquisition and motor equivalent speech production. *Biol Cybern.* 72(1):43-53
- Guenther F.H. (1995) Speech sound acquisition, coarticulation, and rate effects in a neural network model of speech production. *Psychological Review* 102(3), 594–621
- Guenther F. H. (2006) Cortical interactions underlying the production of speech sounds. *Journal of Communication Disorders* 39(5), 350–365
- Guenther F. H., Ghosh S. S., Tourville J. A. (2006) Neural modeling and imaging of the cortical interactions underlying syllable production. *Brain and Language* 96(3), 280-301
- Guenther F. H., Hampson M., und Johnson D. (1998) A theoretical investigation of reference frames for the planning of speech movements. *Psychological Review* 105 (4), 611–633
- Guo LY. und Spencer LJ. (2017) Development of Grammatical Accuracy in English-Speaking Children with Cochlear Implants: A Longitudinal Study. *J Speech Lang Hear Res.* 14; 60(4):1062-1075
- Guo L-Y., Spencer L.J., Tomblin B. (2013) Acquisition of Tense Marking in English-Speaking Children with Cochlear Implants: A Longitudinal Study. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education.* 18(2):187-205
- Grimm H. (2012) *Störungen der Sprachentwicklung –Grundlagen-Ursachen-Diagnose-Intervention-Prävention*, Heidelberg, 3. Auflage, Hogrefe Verlag, Göttingen
- Havel M., Ertl L., Bauer D., Schuster M., Stelter K, Sundberg J. (2014) Resonator properties of paranasal sinuses: preliminary results of an anatomical study. *Rhinology.* Jun;52(2):178-82. doi: 10.4193/Rhin.

- Helms J., Müller J., Schön F. und Brill S. (2003) Cochlea-Implantation: Ergebnisse und Kosten, eine Übersicht. *Laryngorhinootologie*, 82(12), 821-825. doi: 10.1055/s-2004-814135
- Interdisziplinäre S2k-Leitlinie der folgenden Fachgesellschaften und Berufsverbände (2011) Diagnostik von Sprachentwicklungsstörungen (SES), unter Berücksichtigung umschriebener Sprachentwicklungsstörungen (USES)
- Kannengieser Simone (2015) Sprachentwicklungsstörungen - Grundlagen, Diagnostik und Therapie. 3. Auflage, Urban & Fischer Verlag, München
- Lazard D. S., Vincent C., Venail F., Van de Heyning P., Truy E., Sterkers O., Skarzynski P. H., Skarzynski H., Schauwers K., O'Leary S., Mawman D., Maat B., Kleine-Punte A., Huber A. M., Green K., Govaerts P. J., Fraysse B., Dowell R., Dillier N., Burke E., Beynon A., Bergeron F., Baskent D., Artieres F. und Blamey P. J. (2012) 'Pre-, per- and postoperative factors affecting performance of postlinguistically deaf adults using cochlear implants: a new conceptual model over time', *PLoS One*, 7(11), pp. e4873
- Lazarus H. SCA., Steckel R., Kulka M., Kurtz P. (2007) Akustische Grundlagen sprachlicher Kommunikation. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, New York
- Leder S. B. und Spitzer J. B. (1990) A perceptual evaluation of the speech of adventitiously deaf adult males. *Ear Hear*, 11(3), 169-175
- Lehnhardt E. und Laszig R. (2009) Praxis der Audiometrie. 9. Auflage, Georg Thieme, Stuttgart, New York, S. 175
- Lenarz T. und Boenninghaus H.-G. (2012) Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. 14. Auflage, Springer-Verlag, Hannover, S.18 - 19
- Leonhardt A. (2002) Einführung in die Hörgeschädigtenpädagogik. 2. Auflage, Ernst Reinhardt Verlag, München. Basel, S. 77f
- Liker M., Mildner V. und Sindija B. (2007) Acoustic analysis of the speech of children with cochlear implants: a longitudinal study. *Clin Linguist Phon*, 21(1), 1-11

- Lin F. R., Chien W. W., Li L., Clarrett D. M., Niparko J. K., und Francis, H. W. (2012) Cochlear implantation in older adults. *Medicine (Baltimore)*, 91(5), 229-241
- Litovsky R.Y., Johnstone P.M., Godar S.P. (2006) Benefits of bilateral cochlear implants and/or hearing aids in children. *Int J Audiol*; 45 (suppl 1): S.78–9
- Macherey O. und Carlyon R. P. (2014) Cochlear implants. *Curr Biol*, 24(18), R878-884
- Maier A., Noeth E., Batliner A., Nkenke E. (2006) Schuster M. Fully automatic assessment of speech of children with cleft lip and palate. *Informatica*; 30: 477-482
- Menzerath P. und De Lacerda A. (1993) Koartikulation, Steuerung und Lautabgrenzung. Berlin, Dummlers Verlagsbuchhandlung
- Medizinischer Dienst des Spitzenverbandes Bund der Krankenkassen (MDS) (2005) Cochlea Implantat Systeme
- Meyer S. und Ptok M. (2011) Palatographische Verfahren für Diagnostik und Therapie, *HNO-Praxis*, Springer Verlag, 59:385–392
- Mildner V., Sindija B., Zrinski K.V. (2006) Speech perception of children with cochlear implants and children with traditional hearing aids. *Clin Linguist Phon*; 20:219–29
- Mudry A. und Mills M. (2013) The early history of the cochlear implant: a retrospective. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 139(5), 446-453
- Murri A., Cuda D., Guerzoni L., Fabrizi E. (2015) Narrative abilities in early implanted children. *Laryngoscope*. 125(7):1685-90
- Müller-Deile J. (2009) Sprachverständlichkeitsuntersuchungen bei Kochleaimplantatpatienten *HNO* · 57:580–592
- Neumeyer V. (2015) Akustische Analysen der Sprachproduktion von CI-Trägern. Dissertation, München

- Nicholas J.G. und Geers A.E. (2013) Spoken Language Benefits of Extending Cochlear Implant Candidacy Below 12 Months of Age, *Otol Neurotol*; 34(3):532-538
- O'Donoghue G. (2013) Cochlear implants--science, serendipity, and success. *N Engl J Med*, 369(13), 1190-1193
- Oldenburger Satztest (2011) Adaptive Sprachaudiometrie mit Sätzen in Ruhe und im Störgeräusch, Bedienungsanleitung für den manuellen Test auf Audio-CD. HörTech GmbH, Marie-Curie-Straße 2, D-26129 Oldenburg
- Orozco-Arroyave J. R., Hönig F., Arias- londoño J. D., Vargas-Bonilla J. F., Skodda S., Rusz J., Nöth E. (2014) Automatic Detection of Parkinson's Disease from Words Uttered in Three Different Languages, pp. 1573-1577
- Orozco-Arroyave J. R., Hönig F., Arias- londoño J. D., Vargas-Bonilla J. F., Daqrouq K., Skodda S., Rusz J., Nöth E. (2016) 'Automatic detection of Parkinson's Disease in running speech spoken in three different languages', *J Acoust Soc Am*, 139(1), pp. 481-500. doi: 10.1121/1.4939739
- Parker M. und Bitner-Glindzicz M. (2014) Genetic investigations in childhood deafness. *Archives of Disease in Childhood*, 0:1–8. doi:10.1136/archdischild-2014-306099
- Peterson N. R., Pisoni D. B. und Miyamoto R. T. (2010) Cochlear implants and spoken language processing abilities: review and assessment of the literature. *Restor Neurol Neurosci*, 28(2), 237-250
- Plant G. (1984) The effects of an acquired profound hearing loss on speech production. A case study. *Br J Audiol*, 18(1), 39-48
- Probst R., Greves G., Iro H. (2008) Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. 3. Auflage, Thieme Verlag, S.144
- Ricketts T.A., Grantham D.W., Ashmead D.H., Haynes D.S., Labadie R.F. (2006) Speech recognition for unilateral and bilateral cochlear implant modes in the presence of uncorrelated noise sources. *Ear Hear*; 27: 763–73.

- Sarant J., Harris D., Bennet L., Bant S. (2014) Bilateral Versus Unilateral Cochlear Implants in Children: A Study of Spoken Language Outcomes. *Ear and Hearing*; 35; 396-409
- Schönweiler R. (1993) Diagnostik und Therapie kindlicher Sprachstörungen. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 118(19), 707-711. doi: 10.1055/s-2008-105938
- Schulze A. und Zahnert T. (2014) Differentialdiagnostik der Hörstörungen. *Laryngorhinootologie*, 93(10), 689-715
- Schuster M., Haderlein T., Nöth E., Lohscheller J., Eysholdt U., und Rosanowski F. (2006) Intelligibility of laryngectomees' substitute speech: automatic speech recognition and subjective rating. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 263(2), 188-193. doi: 10.1007/s00405-005-0974-6
- Schuster M., Maier A., Haderlein T., Nkenke E., Wohlleben U., Rosanowski F., Nöth E. (2006) Evaluation of speech intelligibility for children with cleft lip and palate by means of automatic speech recognition. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 70(10), 1741-1747
- Schukat-Talamazzini EG (1995) Automatische Spracherkennung - Grundlagen, statistische Modelle und effiziente Algorithmen. *Künstliche Intelligenz*. Vieweg, Braunschweig
- Senn P., Kompis M., Vischer M., Haeusler R. (2005) Minimum Audible Angle, Just Noticeable Interaural Differences and Speech Intelligibility with bilateral Cochlear Implants using clinical speech processors; *Audiol Norotol*, (10); 342-352
- Silbernagel S., Kurtz A., Pape H-C. (2014) *Physiologie*. 7. Auflage, Georg Thieme Verlag KG, S. 736-75
- Smith C.R. (1975) Residual hearing and speech production in deaf children. *J Speech Hear Res*, 18:795-811

- Souza I. P., Brito R., Bento R. F., Gomez M. V., Tsuji R. K., und Hausen-Pinna M. (2011) Speech perception in adolescents with pre-lingual hearing impairment with cochlear implants. *Braz J Otorhinolaryngol*, 77(2), 153-157
- Stemmer G. (2005) *Modelling Variability in Speech Recognition*. Logos-Verlag, Berlin
- Stöver T. und Lenarz T. (2009) *Biomaterials in Cochlear Implants*, *GMS Current Topics in Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery*, Vol. 8, ISSN 1865-1011
- Teoh S. W., Pisoni D. B. und Miyamoto R. T. (2004) Cochlear implantation in adults with prelingual deafness. Part I. Clinical results. *Laryngoscope*, 114(9), 1536-1540
- Tyler R.S. und Summerfield A.Q. (1996) 'Cochlear Implantation: Relationships with Research on Auditory Deprivation and Acclimatization', *Ear and Hearing*, 17(3), pp. 38-50
- Van den Borne S., Snik A.F., Hoekstra C.C., Vermeulen A.M., van den Broek P., Brokx J.P.L. (1998) Assessment of basal sound identification skills and communication abilities in profoundly deaf children fitted with hearing aids or a cochlear implant. *Clin Otolaryngol Allied Sci*, ; 23:455–61
- van Hoesel R.J., Tyler R.S. (2003) Speech perception, localization, and lateralization with bilateral cochlear implants. *J Acoust Soc Am*; 113: 1617–30
- Vogt B., Maier A., Batliner A., Nöth E., Nkenke E., Eysholdt U., Schuster M. (2007) Numerische Quantifizierung der Verständlichkeit von Schulkindern mit isolierter und kombinierter Gaumenspalte. *Phoniatrie und Pädaudiologie*. *HNO*; 55:891-898
- Wagener K.C., Kühnel V., Kollmeier B. (1999a) Entwicklung und Evaluation eines Satztests in deutscher Sprache I: Design des Oldenburger Satztests“. *Z Audiol* 38 (1), 4-15

- Wagener K.C., Brand T., Kollmeier B. (1999b) „Entwicklung und Evaluation eines Satztests in deutscher Sprache II: Optimierung des Oldenburger Satztests“. Z Audiol 38 (2), 44-56
- Wagener K.C., Brand T., Kollmeier B. (1999c) „Entwicklung und Evaluation eines Satztests in deutscher Sprache III: Evaluation des Oldenburger Satztests“. Z Audiol 38 (3), 86-95
- Wagener K.C. (2004) „Factors influencing sentence intelligibility in noise“. bis-Verlag Oldenburg, ISBN: 3-8142-0897-8
- Wagener K.C. und Kollmeier B. (2004) „Göttinger und Oldenburger Satztest. Z Audiol 43 (3), 134-141
- Wahlster W. (ed) (2000) Verbmobil: Foundations of speech-to- speech translation, Springer, Berlin Heidelberg New York
- Waltzman S.B., Cohen N.L., Shapiro W.H. (1992) Use of multichannel cochlear implants in the congenitally and prelingually deaf population. Laryngoscope.;102:395-9
- Waltzman S.B., Cohen N.L., Gomolin R.H. (1997) Open-set speech perception in congenitally deaf children using cochlear implants. Am J Otol.; 8:342-9
- Wei B. P., O'Leary S. J. und Dowell R. (2007) Cochlear implantation: one or two? Lancet, 370(9589), 719-720
- WHO: Grades of hearing impairment: online unter: [http://www.who.int/pbd/deafness/hearing\\_impairment\\_grades/en/](http://www.who.int/pbd/deafness/hearing_impairment_grades/en/)
- Wilson B. S. und Dorman M. F. (2008) Cochlear implants: a remarkable past and a brilliant future. Hear Res, 242(1-2), 3-21
- Windrich M., Maier A., Kohler R., Nöth E., Nkenke E., Eysholdt U. und Schuster M. (2008) Automatic quantification of speech intelligibility of adults with oral squamous cell carcinoma. Folia Phoniatr Logop, 60(3), 151-156. doi: 10.1159/000121004

- Zahnert T. (2010) Schwerhörigkeit - Ätiologie, Diagnostik und auditive Rehabilitation., *Laryngorhinootologie*, 89(11), pp. 669-691
- Zeng F. G., Rebscher S., Harrison W., Sun X. und Feng H. (2008) Cochlear implants: system design, integration, and evaluation. *IEEE Rev Biomed Eng*, 1, 115-142
- Zhang M., Hill E., Boyd A. (2014) A case series report: prelingually deaf cochlear implant users and factors associated with out- comes. *Universal J Clin Med*; 2:24–34
- Zimmermann G.N. und Collins M.J. (1985) The speech of the adventitiously deaf and auditory information: A reply to Goehl and Kaufman. *J Speech Hear Disord* 1985;50:220-221
- Zimmermann G.N. and Rettaliata P. (1981) Articulatory patterns of an adventitiously deaf speaker: Implications for the role of auditory information in speech production. *J Speech Hear Res*; 24:169-179

## 8 Anhang

In der folgenden Tabelle werden die an der Studie teilnehmenden Cochlea Implantat Träger beschrieben.

### Charakteristik des Patientenkollektivs

| Patienten | Gruppen | Alter | Geschlecht | gehörlos ein/beidseitig | CI-Tragedauer (Monate) | Alter bei CI Implantation (Jahre) | Versorgung re/li beidseits | anamnestische Ursache Schwerhörigkeit links | anamnestische Ursache Schwerhörigkeit rechts |
|-----------|---------|-------|------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---|--|
| 1         | 1       | 18    | w          | 2                       | 120                    | 8                                 | CI-CI                      | Hörstürze                                   | Hörstürze                                    |
| 2         | 1       | 20    | w          | 2                       | 198                    | 3                                 | CI-CI                      | unbekannt                                   | unbekannt                                    |
| 3         | 1       | 23    | w          | 2                       | 48                     | 19                                | CI-CI                      | Sauerstoffmangel                            | Hörsturz                                     |
| 4         | 1       | 23    | w          | 2                       | 72                     | 17                                | CI re/HG li                | Frühgeburt                                  | Frühgeburt                                   |
| 5         | 1       | 23    | m          | 1                       | 72                     | 17                                | CI re/HG li                | unbekannt                                   | unbekannt                                    |
| 6         | 1       | 33    | w          | 2                       | 3                      | 33                                | CI re/li-                  | genetisch                                   | genetisch                                    |
| 7         | 1       | 50    | w          | 2                       | 60                     | 45                                | CI-CI                      | Rötelnembryopathie                          | Rötelnembryopathie                           |
| 8         | 1       | 53    | w          | 2                       | 120                    | 43                                | re-/CI li                  | Otitis media + Hörstürze                    | Otitis media + Hörstürze                     |
| 9         | 1       | 60    | m          | 2                       | 3                      | 60                                | CI re/li-                  | Mumps + genetisch                           | Mumps + genetisch                            |
| 10        | 1       | 71    | m          | 2                       | 120                    | 61                                | CI re/HG li                | Sauerstoffmangel                            | Sauerstoffmangel                             |
| 11        | 2       | 17    | w          | 2                       | 144                    | 5                                 | CI-CI                      | Meningitis                                  | Meningitis                                   |
| 12        | 2       | 34    | w          | 2                       | 36                     | 31                                | CI-CI                      | Mittelohrentzündung + Hörsturz              | Mittelohrentzündung + Hörsturz               |
| 13        | 2       | 48    | m          | 2                       | 48                     | 44                                | CI-CI                      | unbekannt                                   | unbekannt                                    |
| 14        | 2       | 57    | w          | 2                       | 120                    | 47                                | CI-CI                      | genetisch                                   | genetisch                                    |
| 15        | 2       | 60    | w          | 2                       | 144                    | 48                                | re-/CI li                  | genetisch                                   | genetisch                                    |
| 16        | 2       | 61    | w          | 2                       | 6                      | 61                                | CI re/HG li                | Morbus Menière                              | Morbus Menière                               |
| 17        | 2       | 63    | w          | 2                       | 168                    | 49                                | CI re/li-                  | Fehlbildung                                 | iatrogen                                     |
| 18        | 2       | 64    | w          | 2                       | 155                    | 51                                | re-/CI li                  | Hörstürze                                   | Hörstürze                                    |

|    |   |    |   |   |     |    |             |              |              |
|----|---|----|---|---|-----|----|-------------|--------------|--------------|
| 19 | 2 | 65 | w | 2 | 36  | 62 | CI-CI       | genetisch    | genetisch    |
| 20 | 2 | 66 | w | 2 | 84  | 59 | re-/CI li   | Hörstürze    | Hörstürze    |
| 21 | 2 | 69 | w | 1 | 12  | 68 | CI re/li-   | genetisch    | genetisch    |
| 22 | 2 | 78 | m | 1 | 6   | 78 | CI re/li-   | Hörsturz     | Hörsturz     |
| 23 | 3 | 38 | m | 2 | 3   | 38 | CI re/li-   | genetisch    | genetisch    |
| 24 | 3 | 43 | m | 1 | 3   | 43 | HG re/CI li | traumatisch  | traumatisch  |
| 25 | 3 | 44 | w | 2 | 72  | 38 | CI-CI       | unbekannt    | unbekannt    |
| 26 | 3 | 45 | w | 2 | 132 | 34 | CI-CI       | genetisch    | genetisch    |
| 27 | 3 | 50 | m | 2 | 192 | 34 | CI re/li-   | unbekannt    | unbekannt    |
| 28 | 3 | 51 | m | 2 | 288 | 27 | re-/CI li   | traumatisch  | traumatisch  |
| 29 | 3 | 51 | m | 1 | 3   | 51 | CI re/li-   | Hörsturz     | Hörsturz     |
| 30 | 3 | 55 | w | 2 | 72  | 49 | CI-CI       | unbekannt    | unbekannt    |
| 31 | 3 | 58 | w | 2 | 48  | 54 | re-/CI li   | unbekannt    | unbekannt    |
| 32 | 3 | 58 | w | 1 | 3   | 58 | CI re/li-   | Hörsturz     | Hörsturz     |
| 33 | 3 | 59 | w | 2 | 96  | 51 | CI re/li-   | traumatisch  | traumatisch  |
| 34 | 3 | 62 | w | 2 | 72  | 56 | CI-CI       | genetisch    | genetisch    |
| 35 | 3 | 65 | m | 1 | 6   | 65 | HG re/CI li | Otitis media | Otitis media |
| 36 | 3 | 67 | m | 2 | 12  | 66 | CI re/HG li | Hörsturz     | Hörsturz     |
| 37 | 3 | 70 | w | 2 | 72  | 64 | re-/CI li   | unbekannt    | unbekannt    |
| 38 | 3 | 70 | w | 1 | 3   | 70 | HG re/CI li | unbekannt    | unbekannt    |
| 39 | 3 | 74 | w | 2 | 96  | 66 | CI re/HG li | genetisch    | genetisch    |
| 40 | 3 | 78 | m | 2 | 36  | 75 | re-/CI li   | unbekannt    | unbekannt    |
| 41 | 3 | 81 | m | 2 | 12  | 80 | re-/CI li   | Hörsturz     | Hörsturz     |
| 42 | 3 | 82 | m | 1 | 60  | 77 | CI re/HG li | genetisch    | genetisch    |
| 43 | 3 | 88 | w | 2 | 3   | 88 | CI re/HG li | Hörsturz     | Hörsturz     |

## 9 Danksagung

Große Dankbarkeit gilt meiner Doktormutter und Betreuerin Frau Prof. Dr. med. Maria Schuster für ihre umfassende Betreuung, ihre unermüdliche Hilfestellung und ihre stets hervorragende Unterstützung bei dieser wissenschaftlichen Arbeit. Ich danke ihr von Herzen für die Überlassung dieser interessanten Thematik und auch dafür, dass sie es mir ermöglichte, diese Promotionsarbeit in ihrer Abteilung durchzuführen.

Ganz besonderer Dank gilt auch Herrn Daniel Polterauer, der mich bei der statistischen Auswertung stets unterstützt hat.

Außerdem danke ich allen Mitarbeitern der Audiometrie und den an der Studie teilnehmenden Patienten für ihre Geduld und Mitarbeit.

Meinen Schwestern danke ich besonders für ihren grenzenlosen Beistand und ihren positiven Zuspruch, ihre Motivation und ihre Hilfsbereitschaft während meines gesamten Studiums und der Promotionsarbeit.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir während meines gesamten Studiums und der Promotionsarbeit stets liebevoll beiseite standen und mich immer unterstützt haben. Ohne sie, ihre unendliche Motivation und Geduld wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

# Eidesstattliche Versicherung

Freimann, Nicole

---

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Der Zusammenhang zwischen Sprachverständlichkeit und Sprachverstehen von Patienten nach Cochlea Implantation

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

---

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin