

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

Korreliert die Hörnervendicke mit dem frühen Outcome  
nach CI-Versorgung bei Kindern?

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

Vorgelegt von

Barbara Andrea Brechtel  
Aus Mannheim

Mainz, 2021

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

12. Juli 2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Literaturdiskussion .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Auditorisches System .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Anatomie .....	3
2.1.2 Physiologie.....	6
<b>2.2 Hörstörungen bei Kindern.....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Epidemiologie und Ätiologie.....	7
2.2.2 Diagnostik .....	10
2.2.3 Therapeutische Möglichkeiten mit einem Hörgerät.....	13
<b>2.3 Cochlea-Implantat .....</b>	<b>15</b>
2.3.1 Funktionsweise .....	15
2.3.2 Voraussetzungen für eine Cochlea-Implantation .....	16
2.3.3 Diagnostik vor Implantation.....	18
2.3.4 Nachbetreuung nach Cochlea-Implantation.....	20
<b>3 Material und Methoden .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Studiendesign .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Patientenkollektiv .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Einschlusskriterien .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4 Ziele .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5 Messinstrumente.....</b>	<b>24</b>
3.5.1 Audiologische Untersuchungen .....	24
3.5.2 Radiologische Untersuchungen .....	25
<b>3.6 Studiendurchführung .....</b>	<b>27</b>
3.6.1 Sicherheit der Teilnehmer .....	27
3.6.2 Einteilung der Patientengruppen.....	28
<b>3.7 Statistik .....</b>	<b>28</b>

3.7.1	Graphische Darstellungen .....	28
3.7.2	Berechnung von Korrelationen .....	29
3.7.3	Berechnung von Unterschieden.....	29
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Deskriptive Daten des gesamten Patientenkollektivs .....</b>	<b>29</b>
4.1.1	Geschlechterverteilung .....	30
4.1.2	Verteilung der Ursachen der Schwerhörigkeit .....	30
4.1.3	Verteilung von uni- oder bilateralen Hörstörungen sowie Verteilung der Hörgeräteversorgung .....	30
4.1.4	Verteilung des Alters bei Bildgebung .....	31
4.1.5	Verteilung der Magnetresonanztomographen.....	31
4.1.6	Verteilung der Feldstärke der Magnetresonanztomographen und Verteilung der Schichtdicken des angefertigten MRT .....	31
4.1.7	Verteilung der Dicken des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis der rechten und der linken Seite.....	31
4.1.8	Verteilung der Dicken des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis des erstimplantierten Ohres .....	33
4.1.9	Verteilung der Dicken des N. vestibulocochlearis bzw. des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres nach Geschlecht .....	36
4.1.10	Verteilung des Alters bei Cochlea-Implantation .....	37
4.1.11	Verteilung des Höralters .....	38
4.1.12	Verteilung der Cochlea-Implantate nach Herstellern .....	40
4.1.13	Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase .....	40
4.1.14	Verteilung der Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase..	42
4.1.15	Verteilung der Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase nach Geschlecht.....	43
4.1.16	Auftreten von Sprachentwicklungsstörung sowie Zwei- oder Mehrspracherwerb .....	44
4.1.17	Korrelation der Dicke des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis mit dem Alter bei Bildgebung .....	44
4.1.18	Korrelation der Dicke des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis mit dem Mittelwert der Aufblähkurve in der zweiten Einstellphase .....	44
4.1.19	Korrelation des Alters bei Implantation und des Höralters mit dem Mittelwert der Aufblähkurve in der zweiten Einstellphase .....	45

<b>4.2</b>	<b>Deskriptive Daten der Gruppen .....</b>	<b>45</b>
4.2.1	Geschlechterverteilung .....	45
4.2.2	Ursache der Schwerhörigkeit.....	45
4.2.3	Verteilung von uni- oder bilateralen Hörstörungen sowie Verteilung der Hörgeräteversorgung .....	46
4.2.4	Verteilung des Alters bei Bildgebung .....	46
4.2.5	Verteilung der Feldstärke der Magnetresonanztomographen.....	47
4.2.6	Verteilung der Dicken des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres .....	47
4.2.7	Verteilung der Dicken des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres.	48
4.2.8	Verteilung des Alters bei Cochlea-Implantation .....	50
4.2.9	Verteilung des Höralters .....	51
4.2.10	Verteilung der Cochlea-Implantate nach Herstellern .....	53
4.2.11	Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase .....	54
4.2.12	Verteilung der Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase..	55
4.2.13	Auftreten von Sprachentwicklungsstörung sowie Zwei- oder Mehrspracherwerb .....	56
<b>4.3</b>	<b>Explorative Analyse .....</b>	<b>57</b>
4.3.1	Unterschied der Dicke des N. vestibulocochlearis bzw. Dicke des N. cochlearis zwischen den Geschlechtern .....	57
4.3.2	Unterschied der Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase zwischen den Geschlechtern .....	58
4.3.3	Unterschied der Dicke des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis der rechten und linken Seite.....	58
4.3.4	Unterschied der Dicke des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis zwischen den Gruppen.....	59
4.3.5	Unterschied des Zeitpunktes der CI-Versorgung.....	60
4.3.6	Unterschied des Höralters .....	61
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>62</b>
<b>5.1</b>	<b>Methoden .....</b>	<b>62</b>
5.1.1	Studiendesign .....	62
5.1.2	Einteilung der Patientengruppen.....	63
5.1.3	Radiologische Untersuchungen .....	63
5.1.4	Audiologische Untersuchungen .....	64

5.2	Diskussion der Ergebnisse .....	67
5.3	Vergleich mit Literatur .....	76
6	Zusammenfassung.....	88
7	Anhang .....	90
8	Literaturverzeichnis .....	99
9	Danksagung.....	108
10	Tabellarischer Lebenslauf .....	109

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abb.</b>	Abbildung
<b>ABI</b>	Auditory Brainstem Implant
<b>ABK</b>	Aufblähkurve
<b>AP</b>	Audioprozessor
<b>AVT</b>	Audioverbale Therapie
<b>BERA</b>	Brainstem Evoked Response Audiometry
<b>BP</b>	Bad Performer
<b>BP <math>d_{NVC}</math></b>	Dicke des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres der Bad Performer
<b>BP <math>d_{NC}</math></b>	Dicke des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres der Bad Performer
<b>BP<sub>M</sub></b>	männliche Bad Performer
<b>BP<sub>W</sub></b>	weibliche Bad Performer
<b>BW</b>	pixel bandwidth
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>CI</b>	Cochlea-Implantat
<b>CISS</b>	constructive interference in steady-state
<b>CMV</b>	Cytomegalievirus
<b>CROS</b>	Contralateral Routing of Signals
<b>CT</b>	Computertomogramm
<b><math>d_{NVC}</math></b>	Dicke des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres
<b><math>d_{NVC-M}</math></b>	Dicke des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres der männlichen Teilnehmer
<b><math>d_{NVC-W}</math></b>	Dicke des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres der weiblichen Teilnehmer
<b><math>d_{NVC}</math> links</b>	Dicke des N. vestibulocochlearis des linken Ohres
<b><math>d_{NVC}</math> rechts</b>	Dicke des N. vestibulocochlearis des rechten Ohres
<b><math>d_{NC}</math></b>	Dicke des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres
<b><math>d_{NC}</math> links</b>	Dicke des N. cochlearis des linken Ohres
<b><math>d_{NC}</math> rechts</b>	Dicke des N. cochlearis des rechten Ohres
<b>dB</b>	Dezibel
<b>ECMO</b>	Extrakorporale Membranoxygenierung
<b>ERA</b>	Electric Response Audiometry

<b>FA</b>	flip angle
<b>FoV</b>	Field of View
<b>g</b>	Gramm
<b>ggf.</b>	gegebenenfalls
<b>GJB</b>	Gap junction beta
<b>GP</b>	Good Performer
<b>GP<sub>d<sub>NVC</sub></sub></b>	Dicke des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres der Good Performer
<b>GP<sub>d<sub>NC</sub></sub></b>	Dicke des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres der Good Performer
<b>GP<sub>M</sub></b>	männliche Good Performer
<b>GP<sub>W</sub></b>	weibliche Good Performer
<b>HdO-HG</b>	Hinter-dem-Ohr-Hörgerät
<b>HL</b>	hearing level
<b>HNO-Klinik</b>	Hals-, Nasen-, Ohrenklinik
<b>Hz</b>	Hertz
<b>IT-MAIS</b>	Infant-Toddler-Meaningful Auditory Integration Scale
<b>JCIH</b>	Joint Committee on Infant Hearing
<b>KHBW</b>	Kleinhirnbrückenwinkel
<b>kHz</b>	Kilohertz
<b>KL-HG</b>	Knochenleitungshörgerät
<b>LVAS</b>	Large-Vestibular-Aqueduct-Syndrom
<b>M</b>	Matrix
<b>MAIS</b>	Meaningful Auditory Integration Scale
<b>Min.</b>	Minute
<b>mm</b>	Millimeter
<b>ms</b>	Millisekunde
<b>MRT</b>	Magnetresonanztomogramm
<b>MUSS</b>	Meaningful Use of Speech Scale
<b>MW</b>	Mittelwert
<b>MW<sub>ABK</sub></b>	Mittelwert der besten Aufblähkurve der 2. Einstellphase
<b>MW<sub>ABK-BP</sub></b>	Mittelwert der besten Aufblähkurven der 2. Einstellphase der Bad Performer



<b>MW<sub>ABK-GP</sub></b>	Mittelwert der besten Aufblähkurven der 2. Einstellphase der Good Performer
<b>MW<sub>ABK-M</sub></b>	Mittelwert der besten Aufblähkurven der 2. Einstellphase der männlichen Teilnehmer
<b>MW<sub>ABK-W</sub></b>	Mittelwert der besten Aufblähkurven der 2. Einstellphase der weiblichen Teilnehmer
<b>n</b>	Anzahl
<b>N.</b>	Nervus
<b>n.e.</b>	nicht ermittelbar
<b>Nn.</b>	Nervi
<b>NICU</b>	Neonatale Intensivstation
<b>NSA</b>	number of signal averages
<b>OAE</b>	Otoakustische Emissionen
<b>OP</b>	Operation
<b>p</b>	Pixel
<b>s.</b>	siehe
<b>SD</b>	Standardabweichung (standard deviation)
<b>SPL</b>	Sound pressure level
<b>SSW</b>	Schwangerschaftswoche
<b>ST</b>	slice thickness
<b>T</b>	Tesla
<b>TA</b>	acquisition time
<b>Tab.</b>	Tabelle
<b>TE</b>	echo time
<b>TR</b>	repetition time
<b>TEOAE</b>	Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen
<b>u.a.</b>	unter anderem
<b>z.B.</b>	zum Beispiel

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Schematische Übersicht über das äußere Ohr, Mittelohr und Innenohr. Abbildung bearbeitet nach Moos et al. A New Approach to Treating Neurodegenerative Otologic Disorders (10).....	5
<b>Abbildung 2:</b> Schematische Übersicht über das Corti-Organ. Abbildung bearbeitet nach Moos et al. A New Approach to Treating Neurodegenerative Otologic Disorders (10).....	5
<b>Abbildung 3:</b> Bildbeispiel für die Messung des N. vestibulocochlearis und des N. cochlearis in der CISS-Sequenz an den Messpunkten im inneren Gehörgang (59, 60). Links: Messung $d_{NVC}$ von 1,49 Millimeter (mm) und $d_{NC}$ von 0,97 mm. Rechts: Messung $d_{NVC}$ von 1,45 mm und $d_{NC}$ von 1,00 m .....	27
<b>Abbildung 4:</b> Boxplots: Verteilung der $d_{NVC}$ rechts und $d_{NVC}$ links, sowie der $d_{NC}$ rechts und $d_{NC}$ links. ....	32
<b>Abbildung 5:</b> Boxplots: Links: Verteilung der $d_{NVC}$ . Rechts: Verteilung der $d_{NC}$ .....	34
<b>Abbildung 6:</b> Histogramm: Verteilung der $d_{NVC}$ .....	35
<b>Abbildung 7:</b> Histogramm: Verteilung der $d_{NC}$ . ....	35
<b>Abbildung 8:</b> Boxplots: Verteilung der Nervendicken nach Geschlecht.....	37
<b>Abbildung 9:</b> Boxplot: Verteilung des Alters bei Implantation. ....	38
<b>Abbildung 10:</b> Histogramm: Verteilung des Höralters bei der 2. Einstellphase. Die rote Markierung trennt das Kollektiv in die Kinder mit einem Höralter von <4 Jahren und $\geq 4$ Jahren. ....	39
<b>Abbildung 11:</b> Kreisdiagramm: Verteilung der Implantate nach Herstellern. ....	40
<b>Abbildung 12:</b> Kreisdiagramm: Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase. ....	41
<b>Abbildung 13:</b> Boxplot: Verteilung der $MW_{ABK}$ . ....	43
<b>Abbildung 14:</b> Balkendiagramm: Verteilung der Ursachen der Schwerhörigkeit in den Gruppen. ....	46
<b>Abbildung 15:</b> Boxplots: Verteilung der $d_{NVC-GP}$ und $d_{NVC-BP}$ . ....	48
<b>Abbildung 16:</b> Boxplots: Verteilung der $d_{NC-GP}$ und der $d_{NC-BP}$ . ....	49

<b>Abbildung 17:</b> Boxplots: Verteilung der Nervendicken des erstimplantierten Ohres in den Gruppen (59, 60).....	50
<b>Abbildung 18:</b> Boxplots: Verteilung des Alters bei Implantation in den Gruppen. ...	51
<b>Abbildung 19:</b> Histogramm: Verteilung des Höralters bei der 2. Einstellphase bei den Good Performern. Die rote Markierung trennt das Kollektiv in Kinder mit einem Höralter <4 Jahren und Kinder mit einem Höralter $\geq 4$ Jahren.....	52
<b>Abbildung 20:</b> Histogramm: Verteilung des Höralters bei der 2. Einstellphase bei den Bad Performern. Die rote Markierung trennt das Kollektiv in Kinder mit einem Höralter <4 Jahren und Kinder mit einem Höralter $\geq 4$ Jahren.....	53
<b>Abbildung 21:</b> Balkendiagramm: Verteilung der Implantate nach Herstellern in den Gruppen. ....	54
<b>Abbildung 22:</b> Balkendiagramm: Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase in den Gruppen. ....	55
<b>Abbildung 23:</b> Boxplots: Verteilung der $MW_{ABK-GP}$ und $MW_{ABK-BP}$ .....	56
<b>Abbildung 24:</b> Boxplots: Verteilung der Nervendicken des erstimplantierten Ohres nach Geschlecht.....	57
<b>Abbildung 25:</b> Boxplots: Verteilung der $MW_{ABK-M}$ und $MW_{ABK-W}$ . ....	58
<b>Abbildung 26:</b> Boxplots: Verteilung der Nervendicken der rechten und linken Seite. ....	59
<b>Abbildung 27:</b> Boxplots: Verteilung der Nervendicken in den Gruppen (59, 60). ....	60
<b>Abbildung 28:</b> Boxplots: Verteilung des Alters bei Implantation in den Gruppen. ...	61
<b>Abbildung 29:</b> Boxplots: Verteilung des Höralters bei der 2. Einstellphase in den Gruppen. ....	62
<b>Abbildung 30:</b> Streudiagramm: Korrelation des $d_{NVC}$ mit dem Alter bei Bildgebung.	92
<b>Abbildung 31:</b> Streudiagramm: Korrelation des $d_{NC}$ mit dem Alter bei Bildgebung.	92
<b>Abbildung 32:</b> Streudiagramm: Korrelation des $d_{NVC}$ mit dem $MW_{ABK}$ .....	93
<b>Abbildung 33:</b> Streudiagramm: Korrelation des $d_{NC}$ mit dem $MW_{ABK}$ . ....	93
<b>Abbildung 34:</b> Streudiagramm: Korrelation des Alter bei Implantation mit dem $MW_{ABK}$ . ....	94

**Abbildung 35:** Streudiagramm: Korrelation des Höralters mit dem  $MW_{ABK}$ . ..... 94

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Risikofaktoren von Hörstörungen. Tabelle bearbeitet nach Franck, C. et al. (26), sowie nach American Academy of Pediatrics, Joint Committee on Infant Hearing Year 2007 position statement (27).....	10
<b>Tabelle 2:</b> Übersicht über die verschiedenen Akquisitionsparameter.....	26
<b>Tabelle 3:</b> Übersicht über die Nervendicken der rechten und linken Seite.....	33
<b>Tabelle 4:</b> Übersicht über die Nervendicken des erstimplantierten Ohres.....	33
<b>Tabelle 5:</b> Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase.....	41
<b>Tabelle 6:</b> Verteilung der $MW_{ABK}$ .....	42
<b>Tabelle 7:</b> Übersicht über die Nervendicken in den Gruppen.....	49
<b>Tabelle 8:</b> Übersicht über das Alter bei Bildgebung, das Alter bei Implantation und das Höralter.....	90
<b>Tabelle 9:</b> Übersicht über die Nervendicken nach Geschlecht.....	90
<b>Tabelle 10:</b> Übersicht über die $MW_{ABK}$ des gesamten Patientenkollektivs, sowie in den Gruppen und nach Geschlecht.....	90
<b>Tabelle 11:</b> Übersicht über das Alter bei Bildgebung, das Höralter und das Alter bei Implantation in den Gruppen.....	91
<b>Tabellen 12:</b> Explorative Analyse: Unterschiede der $d_{NVC}$ und $d_{NC}$ zwischen den Geschlechtern.....	95
<b>Tabellen 13:</b> Explorative Analyse: Unterschiede zwischen dem N. vestibulocochlearis bzw. dem N. cochlearis der rechten und der linken Seite...	96
<b>Tabellen 14:</b> Explorative Analyse: Unterschiede der $d_{NVC}$ bzw. $d_{NC}$ zwischen den Gruppen.....	97
<b>Tabellen 15:</b> Explorative Analyse: Unterschiede des Zeitpunktes der CI-Versorgung zwischen den Good Performern und den Bad Performern.....	97
<b>Tabellen 16:</b> Explorative Analyse: Unterschiede des Höralters bei der 2. Einstellphase zwischen den Good Performern und den Bad Performern.....	98

## **1 Einleitung**

Der Mensch besitzt Sinnesorgane, die ihm helfen, seine Umgebung erkunden zu können und mit anderen Menschen in Kontakt zu treten. Durch die Weiterentwicklung des Cochlea-Implantates (CI) mit erstmals klinischer Anwendung beim Menschen 1978 in Australien ist es gelungen, die Funktion des Hörorgans weitgehend zu ersetzen (1). Durch diese Neuroprothese ist es nun möglich, dass ein von außen kommender akustischer (mechanischer) Reiz in dem Audioprozessor in eine elektrische Information umgewandelt wird, die vom Menschen neuronal verarbeitet und wahrnehmbar ist. Diese Entwicklung ist von großer Bedeutung, da sie die Funktion eines Sinnesorgans übernimmt beziehungsweise (bzw.) wiederherstellt und somit das alltägliche Leben und die Interaktion mit der Umwelt und den Mitmenschen einfacher gestaltet.

Cochlea-Implantate haben sich als erfolgreiche Methode erwiesen, schwerhörigen Patienten das Hören zu ermöglichen. Sie stellen eine Versorgungsmöglichkeit dar, wenn andere technische Hilfsmittel dem Patienten keine ausreichende Hörverbesserung mehr bieten können. Gerade im Kindesalter ist das Hören wichtig für die Entwicklung der Sprache als Schlüssel der Kommunikation mit der Umwelt (2-5). Durch die Einführung des universellen Neugeborenen-Hörscreenings in Deutschland im Jahre 2009 gelingt es, Kinder mit einer vor allem höhergradigen Schwerhörigkeit früh zu identifizieren und weitere diagnostische und therapeutische Maßnahmen einzuleiten. Aus diesem Grund hat das CI einen hohen Stellenwert in der Phoniatrie und Pädaudiologie erhalten. Die Fähigkeit zu hören kann dem mit einem Hörgerät oder CI versorgten Kind die Möglichkeit geben, selbst Sprache zu entwickeln in Abhängigkeit der intrinsischen, kognitiven Fähigkeiten und den sprachfördernden Umgebungsbedingungen. So kann durch die frühe Versorgung der höhergradigen Schwerhörigkeit neben der Gebärdensprache auch die Lautsprache erworben werden. Die betroffenen Patienten leiden unter weniger Nachteilen als vor der Entwicklung von Hörgeräten und Cochlea-Implantaten. Es konnte gezeigt werden, dass höhergradig schwerhörige oder taub geborene Kinder kommunikative Fähigkeiten erzielen können, die nah an denen normalhörender Kinder herankommen (6). Heute ist es oft möglich, dass taub geborene Kinder bei frühzeitiger Versorgung und guter Fördersituation sowie bester technischer

## Einleitung

Versorgung die Regelschule besuchen. Somit ist die Entwicklung des CI revolutionär in Bezug auf die Rehabilitation von höhergradigen Schwerhörigkeiten in der Kindheit. Der Gewinn, den sich die Patienten von der Innenohrprothese verschaffen können, fällt von Patient zu Patient jedoch unterschiedlich aus und ist abhängig von den Voraussetzungen und Rahmenbedingungen, die jeder einzelne mitbringt.

Kinder stellen eine besondere Patientengruppe dar, für die in der Regel die aufgeklärten Eltern medizinische Entscheidungen treffen müssen. Wird nun festgestellt, dass ein Kind schwerhörig oder taub ist, ist es oftmals schwer für die Angehörigen die Diagnose zu verstehen und zu akzeptieren. Dadurch, dass eine Versorgung der Hörstörung so schnell wie möglich eingeleitet werden muss, sollten die Eltern möglichst schnell befähigt werden, Entscheidungen treffen zu können. Da sowohl die Diagnostik teilweise in Vollnarkose durchgeführt werden muss als auch eine CI-Versorgung einen operativen Eingriff mit Risiken darstellt, sollte die Entscheidung wohl begründet und überlegt sein.

Die zugrundeliegende Fragestellung dieser Studie war, ob es zusätzlich zu den pädaudiologischen Befunden weitere geeignete Parameter gibt, anhand derer präoperativ abgeschätzt werden kann, ob ein Kind von einem CI vermutlich profitieren wird, zum Beispiel (z.B.) durch die Ermittlung der Hörnervendicke, des Höralters oder dem Zeitpunkt der Implantation. In der Beratungssituation und Entscheidungsfindung könnte man so Eltern validere Aussagen geben. Wenn man durch die präoperative Bildgebung und andere Faktoren bzw. Prädiktoren nun den zukünftigen Gewinn mit einem CI abschätzen könnte, wäre dies für die Entscheidungsfindung der Eltern hilfreich.

Das primäre Ziel der Studie war es, den Zusammenhang zwischen der Hörnervendicke und dem frühen Hörerfolg zu untersuchen. Zusätzlich wurde mithilfe der in dieser Studie erhobenen Daten noch weitere in diesem Zusammenhang stehende Fragestellungen untersucht (siehe (s.) Kapitel 3.4).

## **2 Literaturdiskussion**

### **2.1 Auditorisches System**

#### **2.1.1 Anatomie**

Das auditorische System besteht aus einem zentralen und peripheren Anteil (7). Der periphere Anteil besteht aus dem äußeren Ohr, dem Mittelohr, dem Innenohr und dem achten Hirnnerv. Der zentrale Anteil besteht aus der Hörbahn (7).

Das äußere Ohr wird gebildet von der Ohrmuschel und dem äußeren Gehörgang (7). Das Mittelohr setzt sich zusammen aus dem Trommelfell, der Paukenhöhle, den pneumatisierten Räumen und der Ohrtrumpete (7). In der Paukenhöhle ist die Gehörknöchelchenkette angesiedelt, die aus dem Hammer (Malleus), dem Amboss (Incus) und dem Steigbügel (Stapes) besteht (7). Sie spielt eine wichtige Rolle bei der Schallleitung, da durch sie die Trommelfellschwingung auf das Innenohr übertragen und verstärkt wird (7). Der Hammergriff und der kurze Fortsatz setzen am Trommelfell an. Mit dem Amboss ist der Hammer über ein Sattelgelenk verbunden. Der Amboss ist über ein Gleitgelenk mit dem Steigbügel verbunden, der wiederum mit seiner Fußplatte am ovalen Fenster ansetzt (7).

Die Hörschnecke (Cochlea) und das Gleichgewichtsorgan (Vestibularorgan) sind im Innenohr angesiedelt (7). Das Innenohr wird auch als Labyrinth bezeichnet. Dabei gibt es ein knöchernes und ein häutiges Labyrinth (7). Wichtige Flüssigkeiten im Innenohr sind die Perilymphe, die sich zwischen Knochen und häutigem Labyrinth befindet, und die Endolymphe, die sich im häutigen Labyrinth befindet (7).

Die knöcherne Cochlea ist spiralgig aufgebaut und zweieinhalbmal um den Modiolus, die Achse, gewunden, in der sich Gefäße und Nerven befinden (7). Die Windungen der Cochlea sind durch die Lamina spiralis interossea und den Ductus cochlearis in zwei Räume geteilt, die Perilymphe enthalten und als Scala tympani und Scala vestibuli bezeichnet werden. Die beiden Räume stehen durch das Helicotrema an der Schneckenspitze in Verbindung (7). Der Ductus cochlearis in der häutigen Schnecke ist mit Endolymphe gefüllt. Dieser Raum endet blind in der Schneckenspitze und besitzt drei Wände (7).

Die Reissner-Membran bildet die obere, ionendurchlässige Wand und grenzt den Ductus cochlearis von der Scala vestibuli ab (7). Das Ligamentum spirale trägt die endolymphebildende Stria vascularis und stellt die äußere Wand dar. Die Basilarmembran trennt als untere Wand den Ductus cochlearis von der Scala tympani (7). An der Schneckenbasis ist die Basilarmembran schmal und wird bis zur



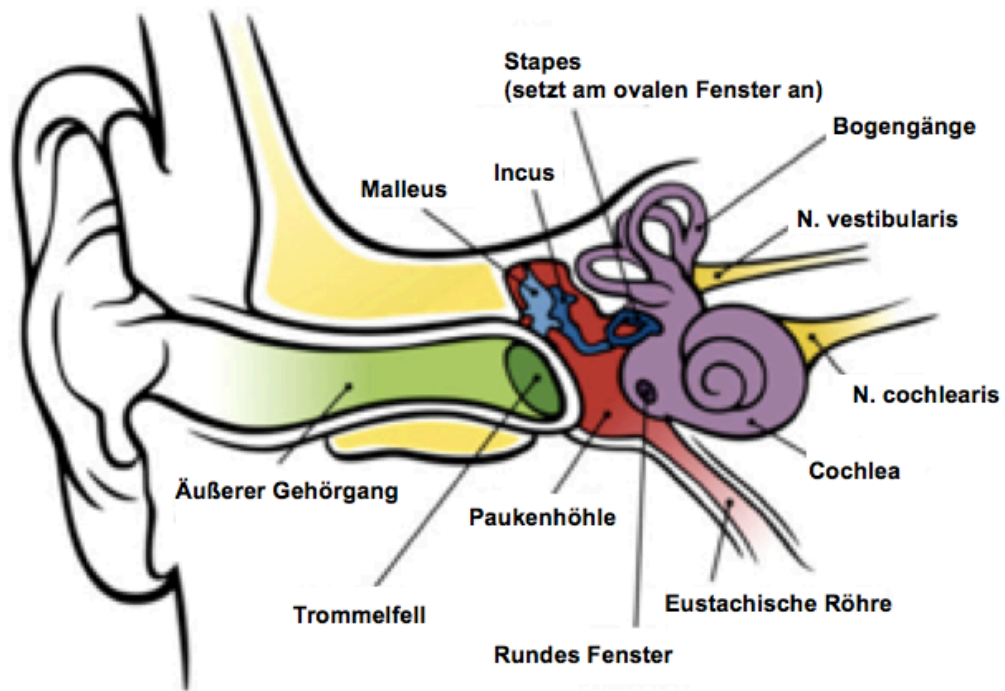
## Literaturdiskussion

Schneckenspitze hin immer breiter. Im Gegensatz dazu ist die Lamina spiralis ossea an der Basis breit und wird zur Schneckenspitze hin schmaler (7). Hohe Frequenzen erregen die Schneckenbasis, tiefe Frequenzen die Schneckenspitze (7).

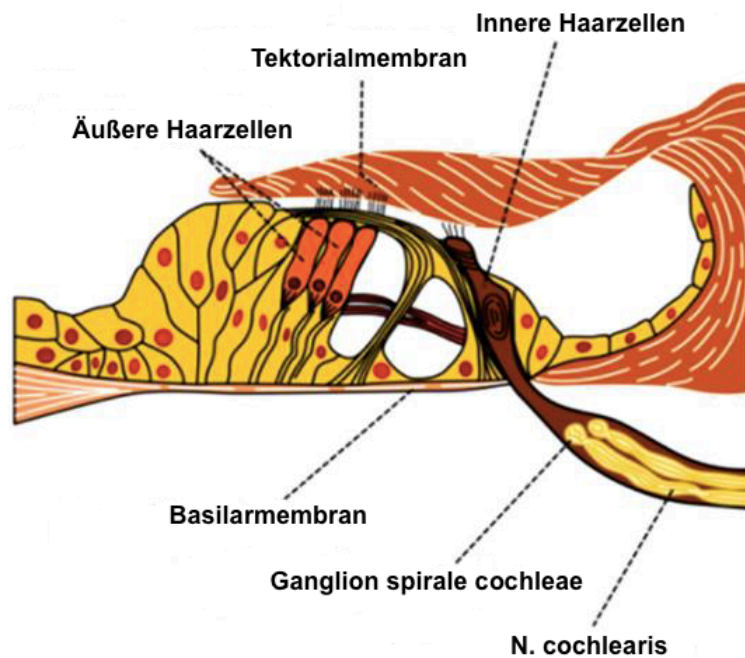
Auf der Basilarmembran befindet sich das Corti-Organ, welches von der Membrana tectoria bedeckt wird (7). Das Corti-Organ besteht aus Stützzellen und Sinneszellen. Die Stützzellen bilden zwei Tunnel, die mit Perilymphe gefüllt sind, und haben die Aufgabe, die Sinneszellen zu stützen. Diese sind angeordnet als eine Reihe innerer und drei Reihen äußerer Haarzellen, die mit der Membrana tectoria in Verbindung stehen (7).

Der achte Hirnnerv teilt sich im inneren Gehörgang in den Nervus (N.) cochlearis, der zum Ganglion spirale cochleae zieht, und den N. vestibularis auf (7). Das Ganglion spirale cochleae liegt mit seinen bipolaren Ganglienzellen im Modiolus der Cochlea (7). Die bipolaren Ganglienzellen dienen als erstes Neuron der Hörbahn. Ihre peripheren Ausläufer bilden afferente Nervenfasern. Sie verlaufen von den Haarzellen und durch die Lamina spiralis ossea und die Basilarmembran (7). Die zentralen Ausläufer der bipolaren Ganglienzellen bilden den N. cochlearis und ziehen durch den inneren Gehörgang zum Kleinhirnbrückenwinkel (KHBW) (7).

In den folgenden Abbildungen (Abb.) 1 und 2 sind die Anatomie des äußeren Ohres sowie des Corti-Organ schematisch dargestellt.



**Abbildung 1:** Schematische Übersicht über das äußere Ohr, Mittelohr und Innenohr. Abbildung bearbeitet nach Moos et al. A New Approach to Treating Neurodegenerative Otologic Disorders (10).



**Abbildung 2:** Schematische Übersicht über das Corti-Organ. Abbildung bearbeitet nach Moos et al. A New Approach to Treating Neurodegenerative Otologic Disorders (10).

## Literaturdiskussion

Etwa 10-20 afferenten Fasern ziehen von einer inneren Haarzelle zum Ganglion spirale cochleae, dagegen nur eine afferente Faser von mehreren äußeren Haarzellen (7, 8). Somit haben etwa 95% der afferenten Neurone des Ganglion spirale cochleae Kontakt zu den etwa 4000-4500 inneren Haarzellen und nur etwa 5% zu den etwa drei Mal so vielen äußeren Haarzellen (8, 9).

Efferente Nervenfasern ziehen von der kontralateralen Olive hauptsächlich zu den äußeren Haarzellen. Sie haben einen modulierenden Einfluss und sollen das periphere Hörsystem an die jeweilige Hörsituation anpassen (7).

Insgesamt werden die akustischen Informationen über vier Neurone verschaltet, bis sie letztendlich in der primären auditorischen Kortex gelangen (7).

### **2.1.2 Physiologie**

Die Reizung des Hörorgans erfolgt durch mechanische Schallwellen (7). Diese gelangen durch den äußeren Gehörgang zum Trommelfell und versetzen dieses in Schwingung (7). Vom Menschen wahrgenommen werden können Schallfrequenzen zwischen 16 Hertz (Hz) und 20.000 Hz (7). Das Trommelfell ist durch seine Beschaffenheit in der Lage, die Schwingungsenergie fast ohne Verluste durch Schallreflexion aufzunehmen und bis zu 30-fach zu verstärken (7). Die Schwingung des Trommelfells überträgt sich auf die Gehörknöchelchenkette und von dort aus durch die Stapesfußplatte auf die Perilymphe (7). Aufgrund des Größenverhältnisses des Trommelfells zur Steigbügel Fußplatte und die Bewegung der Gehörknöchelchen kann eine Verstärkung des Schallpegeldrucks erzielt werden (7). Somit kann der niedrige Schallwellenwiderstand der Luft dem hohen Widerstand der Innenohrflüssigkeiten angepasst werden (7).

Die Volumenverschiebung der Perilymphe lenkt die Basilarmembran aus und in Form einer Wanderwelle wird diese Auslenkung unterschiedlich schnell und weit in Richtung Helicotrema fortgeführt (7). Die Amplitude nimmt dabei in ihrem Verlauf immer mehr zu bis zum Grad der maximalen Auslenkung. Grund dafür ist die sich ändernde Elastizität und zunehmende Breite der Basilarmembran, sowie das enger werdende knöcherne Labyrinth (7). Dabei bestimmt die Frequenz des Tons den Ort maximaler Auslenkung, was als Tonotopie bezeichnet wird (7). Im basalen Bereich der Schnecke erreichen Schwingungen mit hoher Frequenz ihre maximale Auslenkung, in der Nähe des Helicotremas dagegen Schwingungen mit niedriger Frequenz (7).

## Literaturdiskussion

Die Auslenkung der Basilarmembran zieht auch eine Auslenkung der Membrana tectoria und der Endolymphe nach sich (7). Dadurch werden die Stereozilien der Haarzellen tangential verschoben, was den adäquaten Reiz für die Sinneszellen darstellt und ein Aktionspotential auslöst (7). Jede Nervenfasern des N. cochlearis besitzt dabei eine Frequenz, durch die sie am stärksten erregt wird (7).

Der N. cochlearis und die aufsteigende Hörbahn leiten dieses Aktionspotential nach zentral weiter. Im auditorischen Cortex entsteht dann letztendlich der Höreindruck (7). Um eine Hörinformation übermitteln zu können, muss also mechanische in elektrische Energie umgewandelt werden (7).

Bei Kindern ist das auditorische System zu Beginn noch unreif (2, 3). Auditorische Stimuli führen dazu, dass im Gehirn synaptische Verbindungen geknüpft werden (4). Das bedeutet, dass ein auditorischer Input essentiell für die Reifung des auditorischen Systems ist (3, 5). Entscheidend ist demnach eine bestmögliche technische Versorgung höhergradig schwerhöriger Kinder in dieser Periode, um Hören und die damit verbundenen Fähigkeiten zu lernen (3-5).

## **2.2 Hörstörungen bei Kindern**

### **2.2.1 Epidemiologie und Ätiologie**

Bei den Hörstörungen sind je nach Lokalisation die Schallleitungsschwerhörigkeit und die Schallempfindungsschwerhörigkeit zu unterscheiden (7). Ebenso kann eine kombinierte Schwerhörigkeit vorliegen (7).

Bei der Schallleitungsschwerhörigkeit liegt die Ursache entweder im äußeren Ohr oder im Mittelohr (7). Dadurch ist die Übertragung der Schallwellen auf das Innenohr eingeschränkt. Schallleitungsschwerhörigkeiten können angeboren oder erworben sein (7).

Bei der Schallempfindungsschwerhörigkeit liegt entweder eine Störung des Innenohrs (sensorische oder kochleäre Schwerhörigkeit), des Hörnerven (neurale Schwerhörigkeit) oder der zentralen Hörbahn (zentrale Schwerhörigkeit) vor (7).

Neurale und zentrale Schwerhörigkeit werden auch als retrocochleäre Schwerhörigkeiten bezeichnet (7).

Bei der kombinierten Schwerhörigkeit gibt es sowohl eine Schallleitungs- als auch eine Schallempfindungskomponente (7). Die Diagnostik dieser Art von Hörstörung kann im Kindesalter erschwert sein. Deshalb muss initial die Schallleitungs-komponente, sofern möglich, z.B. manuell durch Cerumenentfernung und/oder

Literaturdiskussion

operativ durch das Einlegen einer Paukendrainage, behoben werden, bevor die Diagnostik vollständig abgeschlossen werden kann (10, 11). Im Anschluss kann die kombinierte Schwerhörigkeit behandelt bzw. versorgt werden (11). Wenn ein Verlust oder eine Störung in der Funktion der inneren Haarzellen und ihrer Synapsen oder der Spiralganglienneurone vorliegt, spricht man von auditorischer Synapto-/Neuropathie (12).

Bei der zentralen auditorischen Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung liegt eine Störung innerhalb der Hörbahn und des auditorischen Kortex vor, die periphere Hörfunktion ist dabei intakt (12-14).

Eine weitere Hörstörung, v.a. im Kindesalter, ist die nicht-organische (psychogene, teilweise auch als funktionell bezeichnet) Hörstörung, welche von der Aggravation bzw. Simulation im Erwachsenenalter abgegrenzt werden muss (15-19). Dabei liegt sowohl im peripheren als auch im zentralen Hörsystem keine erkennbare Pathologie, sondern eine dissoziative oder auch Konversionsstörung aus dem psychosomatischen Formenkreis vor (15-19).

Bei den Hörstörungen kann man außerdem zwischen hereditärer und erworbener Schwerhörigkeit unterscheiden (7). Bei den hereditären Hörstörungen liegt ein Fehler in der genetischen Information eines oder mehrerer entsprechender Gene vor, wodurch Proteine fehlerhaft kodiert werden (7). Dadurch entstehen Störungen der Zellfunktion und -interaktion (7). Beispiele für hereditäre nicht-syndromale Hörstörungen sind die autosomal-rezessive Mutation im Gap junction beta-2- (GJB2-)Gen oder dem GJB6-Gen, die für die Proteine Connexin 26 bzw. Connexin 30 kodieren. Diese Proteine sorgen für die Ausbildung von Gap Junctions zwischen den Zellen des Innenohres (7, 20).

Zusätzlich kann man syndromale von nicht-syndromalen Schwerhörigkeitsformen unterscheiden (7). Die syndromalen Formen gehen dabei mit noch weiteren, für das entsprechende Syndrom typischen Symptomen, einher (7). Beispiele für syndromale Hörstörungen sind das Alport-Syndrom, Pendred-Syndrom, Usher-Syndrom, CHARGE-Syndrom, Goldenhar-Syndrom, Trisomie 21, VACTERL, Cri-du-chat-Syndrom oder 18p-minus-Syndrom (20-23).

Bei den erworbenen Schwerhörigkeiten unterscheidet man anhand des Zeitpunktes zwischen pränatal, perinatal und postnatal erworbenen Hörstörungen (7).

Pränatale Hörstörungen können durch Infektionen in der Schwangerschaft (z.B. Cytomegalievirus-(CMV-)Infektion als häufigste Ursache, aber auch Toxoplasmose

Literaturdiskussion

oder Röteln), durch Stoffwechselerkrankungen der Mutter (z.B. Hypothyreose, Diabetes mellitus) oder durch Noxen (Alkohol, Thalidomid, Drogen) ausgelöst werden (7). Auch anatomische Fehlbildungen, wie z.B. eine Atresie von Gehörgang und/oder Ohrmuschel, zählen zu den pränatalen Hörstörungen (7).

Bei perinatal erworbenen Hörstörungen, also in einem Zeitraum zwischen vier Wochen vor und vier Wochen nach der Entbindung, liegen zumeist Geburtskomplikationen oder ein Kernikterus durch Hyperbilirubinämie vor (7, 24).

Postnatal erworbene Hörstörungen sind oft Folge entzündlicher Geschehen, z.B. einer Mittelohrentzündung (Otitis media), Meningitis oder Labyrinthitis (7). Auch Traumata, Infektionskrankheiten (z.B. Mumps, Masern) oder andere Ursachen (z.B. Large-Vestibular-Aqueduct-Syndrom (LVAAS)) können zu postnatalen Hörstörungen führen (7, 25).

Hörstörungen, die von Geburt an bestehen, werden als angeborene oder konnatale Hörstörungen bezeichnet (24). Diese Hörstörungen sind pränatal erworben oder genetischen Ursprungs. Perinatal erworbene Hörstörungen können dabei nur teilweise als angeboren angesehen werden (24).

In Deutschland liegt die Prävalenz kindlicher Hörstörungen mit einem Hörverlust von mindestens 35 Dezibel (dB) auf dem besser hörenden Ohr bei 1,2:1000 Lebendgeborenen und soll somit ähnlich hoch sein wie in anderen europäischen Ländern (13, 24). Da die Prävalenz vom medizinischen Standard abhängt, ist davon auszugehen, dass sie in Dritte-Welt-Ländern höher liegt (24).

Die Ursachen der kindlichen Hörstörungen sollen zu 18% erworben sein. Dabei haben etwa jeweils ein Drittel davon prä-, peri- oder postnatale Ursachen. 25% der kindlichen Hörstörungen sollen auf genetischen Ursachen beruhen und bei 57% bleibt die Ursache unbekannt (24).

Zu betonen gilt, dass frühgeborene Kinder im Vergleich zu reifgeborenen Kindern ein besonders hohes Risiko für Hörstörungen tragen (26). Man geht von einer 10- bis 50-fach erhöhten Krankheitshäufigkeit aus. Dabei steigt die Prävalenz der Hörstörungen je geringer das Gestationsalter ist. Bei späten Frühgeborenen (32.–36. Schwangerschaftswoche (SSW)) liegt sie bei 0,9%, bei extrem Frühgeborenen (23.–25. SSW) bei 7,2% (26).

Außer der Frühgeburtslichkeit gibt es für die Ausbildung einer Hörstörung auch noch andere verschiedene Risikogruppen, die sich international am kontinuierlich überarbeiteten Risikofaktorregister des Joint Committee on Infant Hearing (JCIH)

orientieren (26, 27). Die Risikofaktoren nach dem JCIH sind in der folgenden Tabelle (Tab.) 1 dargestellt (26, 27).

**Tabelle 1:** Risikofaktoren von Hörstörungen. Tabelle bearbeitet nach Franck, C. et al. (26), sowie nach American Academy of Pediatrics, Joint Committee on Infant Hearing Year 2007 position statement (27).

<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Frühgeburt <math>\leq 32</math> SSW</li><li>➤ Geburtsgewicht <math>&lt; 1500</math> Gramm (g)</li><li>➤ Schwere neonatale Asphyxie/Hypoxie (APGAR-Score: 1. Minute (Min.) <math>&lt; 5</math> oder 5. Min. <math>&lt; 7</math>)</li><li>➤ Positive Familienanamnese bezüglich permanenter kindlicher Hörstörungen</li><li>➤ Betreuung auf der neonatalen Intensivstation (NICU) <math>&gt; 2 - 5</math> Tage</li><li>➤ Beatmung</li><li>➤ Ototoxische Medikation (z. B. Aminoglykoside und Schleifendiuretika)</li><li>➤ Kritische Hyperbilirubinämie (mit Austauschtransfusion)</li><li>➤ Extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO)</li><li>➤ Prä-/postnatale Infektionen (insbesondere CMV, Toxoplasmose, Röteln, Herpes, bakterielle Infektionen)</li><li>➤ Fehlbildungen des Kopfes (z.B. kraniofaziale Anomalien, Ohranhängsel)</li><li>➤ Syndrome mit der Assoziation zu Hörstörungen (z. B. Trisomie 21, CHARGE-, Alport-, Waardenburg-Syndrom, Neurofibromatose Typ II, Osteopetrose)</li><li>➤ Verdacht der Eltern bzw. der Betreuer auf eine Hörstörung</li></ul>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 2.2.2 Diagnostik

Um das Gehör zu prüfen, gibt es verschiedene Verfahren. Das Entwicklungsalter des Kindes bestimmt dabei, welche Verfahren angewendet werden können (28). Die Ohren sollte man dabei möglichst seitengetreunt beurteilen, um auch einseitige Hörstörungen erkennen zu können (28).

Mit Hilfe des Neugeborenen-Hörscreenings ist es möglich, Schwerhörigkeiten schon kurz nach Geburt festzustellen (29). Dabei können ein- und beidseitige Hörstörungen ab einem Hörverlust von 35 dB HL (hearing level) detektiert werden (28). Bei

## Literaturdiskussion

Verdacht auf das Vorliegen einer Hörstörung sollte die pädaudiologische Konfirmationsdiagnostik bis zur 12. Lebenswoche erfolgen (28-30).

Zu Beginn der Diagnostik steht die ausführliche Anamneseerhebung. Bei Kindern gelingt diese meist in Form der Fremdanamnese über die Eltern (28).

In der klinischen Untersuchung sollte neben der Ohrmikroskopie der komplette Kopf-Hals-Bereich untersucht werden (28).

Bei den Hörprüfverfahren unterscheidet man zwischen objektiven und subjektiven Methoden (28). Mithilfe von objektiven Hörprüfverfahren lassen sich Teilfunktionen des Gehörs untersuchen. Sie eignen sich dazu, Art und Grad der Hörstörung festzustellen (28). Dabei ist eine passive Kooperation des Kindes ausreichend.

Die Impedanzaudiometrie ist ein essentieller Bestandteil der pädaudiologischen Diagnostik (28). Die Tympanometrie eignet sich dazu, die Mittelohrfunktion zu beurteilen (28). Zu nennen sind dabei die 226 Hz- und die 1000 Hz-Tympanometrie, die mit einer einzigen Test-Sinuston-Frequenz den akustischen Widerstand des Trommelfell-Mittelohrapparates bei unterschiedlichen Druckverhältnissen im Gehörgang messen (31). Die Hochfrequenztympometrie kann mit einem 1000 Hz-Sondenton bei Säuglingen bzw. bei Menschen mit einem kleinen Gehörgangsvolumen genauere Befunde über die Belüftungsverhältnisse des Mittelohrs liefern als die Tympanometrie mit einem 226 Hz-Sondenton (32, 33).

Bei der Wideband-Tympanometrie/Multifrequenz-Tympanometrie verwendet man breitbandige Klick-Signale zwischen 226 und 8000 Hz, welche eine Ermittlung der Schalldruckabsorption über den ganzen Frequenzbereich ermitteln (31).

Mithilfe der Stapediusreflexaudiometrie erhält man Auskunft über die Funktion des Mittelohres, sowie über die Schallverarbeitung im Innenohr und im Hirnstamm (28).

Durch otoakustische Emissionen (OAE) erhält man Informationen über die präneurale Funktion der äußeren Haarzellen. Bei Schallempfindungsschwerhörigkeiten sind diese meist primär betroffen (28). Dieses Verfahren findet mittels der transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen (TEOAE) im Neugeborenenhörscreening Anwendung (28). Bei der auditorischen Synaptopathie oder auditorischen Neuropathie sind OAE nachweisbar, wohingegen die Brainstem Evoked Response Audiometry (BERA) pathologisch ausfällt (28). Bei Vorliegen einer Schallleitungsschwerhörigkeit oder Tubenbelüftungsstörung bzw. auch bei Paukendrainagen-Einlage können OAE nicht ausreichend nachgewiesen werden (28).



## Literaturdiskussion

Die Electric Response Audiometry (ERA) ist ein elektrophysiologisches Untersuchungsverfahren (28). Sie ist vor allem geeignet, wenn der Verdacht auf eine retrocochleäre Hörstörung vorliegt oder eine subjektive Audiometrie nicht möglich ist, z.B. aufgrund des Entwicklungsalters oder bei Vorliegen einer Komorbidität (28).

Mithilfe der BERA lassen sich die frühen auditorisch evozierten Potentiale der Hörbahn bis zum Hirnstamm messen (28). Sie kann eingesetzt werden, um eine Hörstörung zu erkennen und die frequenzspezifische Hörschwelle abzuschätzen (28). Man erhält indirekte Informationen über die Funktion der inneren Haarzellen, da 95% der afferenten Neurone des Hörnervs durch diese erregt werden (9).

Mithilfe von subjektiven Methoden lässt sich die Gesamtfunktion des Gehörs untersuchen (28). Dabei ist allerdings die aktive Kooperation des Kindes erforderlich (28).

Bei der Tonschwellenaudiometrie wird die frequenzabhängige Hörschwelle in Luft- und Knochenleitung bestimmt (28). Mithilfe der Abweichung der Knochen- von der Luftleitungsschwelle kann man eine Schallleitungsschwerhörigkeit oder die Schallleitungskomponente einer kombinierten Schwerhörigkeit feststellen (28).

Sobald das Kind Einsteckhörer oder Kopfhörer toleriert, ist es möglich, das Gehör seitengetreunt zu prüfen (28).

Junge Kinder können noch nicht aktiv kooperieren, sodass eine klassische Tonaudiometrie, bei der das Kind auf einen Knopf drückt, um anzugeben, dass es einen Ton gehört hat, noch nicht möglich ist (28).

Bei diesen Kindern müssen andere Verfahren angewendet werden, um die Hörschwelle zu ermitteln. Hilfreich können dabei Verhaltensbeobachtungen der Kinder sein (28).

In der Freifeld-Audiometrie werden akustische Reize über Lautsprecher angeboten und man ermittelt die Hörschwelle anhand der Reaktion des Kindes (28). Bei diesem Verfahren erhält man allerdings nur Informationen über das besser hörende Ohr (28). Bei der Reflexaudiometrie kann man sich insbesondere bei Säuglingen bestimmte Reflexe, wie z.B. den auropalpebralen Reflex, auf akustische Stimuli zu Nutzen machen (28). Sie eignet sich dabei nicht nur zu diagnostischen Zwecken, sondern auch zur Bestimmung der Unbehaglichkeitsschwelle, z.B. in der Hörgeräteanpassung (28).

Die Verhaltensbeobachtungsaudiometrie beruht auf nicht-reflektorischen Verhaltensreaktionen der Kinder auf akustische Stimuli, wie z.B. der Zuwendung zu einer

Literaturdiskussion

Schallquelle (28). Konditionierung, wie z.B. eine bestimmte Spielhandlung, kann dabei helfen, eine genauere Hörschwelle zu ermitteln (28).

Mithilfe der Sprachaudiometrie lässt sich das Hörvermögen in Bezug auf die Sprachwahrnehmung des Kindes beurteilen (28). Diese sollte allerdings unbedingt auf den Sprachentwicklungsstand des Kindes abgestimmt sein (28).

Bei Vorliegen einer Hörstörung sollten zusätzlich auch eine Sprachentwicklungsdiagnostik und eine allgemeine Entwicklungsdiagnostik erfolgen (28).

Bildgebungen sind ein weiterer Bestandteil der Diagnostik, wenn ein CI oder ein implantierbares Hörgerät in Frage kommen oder der Verdacht auf das Vorliegen einer Raumforderung oder Fehlbildung besteht (28, 30). Sie liefern Informationen über die individuelle anatomische Situation und gegebenenfalls (ggf.) vorliegende morphologische Veränderungen (28, 34, 35). Insbesondere bei einseitigen Schwerhörigkeiten mit Seitendifferenz und bei progredient verlaufenden Schwerhörigkeiten sollte an ein LVAS gedacht werden (25). In Kapitel 2.3.3 „Diagnostik vor Implantation“ werden die Bildgebungen näher erläutert.

Des Weiteren ist eine Gleichgewichtsdagnostik, wie z.B. der Kopf-Impuls-Test, sinnvoll (30). Diese kann Hinweise über mögliche Fehlbildungen liefern, wie z.B. eine Aplasie der Bogengänge oder cochleäre Fehlbildungen beim CHARGE-Syndrom (36).

Durch eine Labordiagnostik kann der Verdacht auf das Vorliegen einer stoffwechselbedingten oder infektiologischen Ursache der Hörstörung abgeklärt werden (28).

Wenn eine permanente Schwerhörigkeit festgestellt wurde, sollte eine humangenetische Beratung und Diagnostik angeboten werden (28).

### **2.2.3 Therapeutische Möglichkeiten mit einem Hörgerät**

Wenn bei auffälligem Neugeborenen-Hörscreening und nach Komplettierung der Diagnostik eine Schwerhörigkeit nachgewiesen werden konnte, ist das weitere Vorgehen abhängig vom Grad der Schwerhörigkeit (29).

Allgemein gilt, dass eine Hörgeräteversorgung je nach Entwicklungsalter und Art der Hörstörung regelmäßig überprüft werden sollte (28, 29). Dazu gehört die Bestimmung einer Aufblähkurve (ABK) mit Unbehaglichkeitsschwelle, Kindersprachaudiometrie im Freifeld, Messung des Richtungshörens,

## Literaturdiskussion

Lautheitsskalierung und Verhaltensbeobachtungen (28). Eine ABK bezeichnet die tonaudiometrisch ermittelte Hörschwelle bei Patienten, die eine Hörhilfe, wie z.B. ein Hörgerät, tragen (28).

Bei einem Hörverlust von 10 bis 35 dB sollten audiologische Kontrollen erfolgen, der Zeitpunkt ist dabei abhängig von der Stärke des Hörverlustes (29).

Bei einem Hörverlust  $\geq 35$  dB sollte bei nachgewiesener sensorineuraler Schwerhörigkeit spätestens bis zum Lebensalter von 3 Monaten ein Hinter-dem-Ohr-Hörgerät (HdO-HG) verordnet werden, damit eine Reifung der Hörbahn ermöglicht wird (28, 29). Nach 3-6 Monaten sollte dann eine audiologische Kontrolle erfolgen (29). Innerhalb des 1. Lebensjahres kann ggf. die Versorgung mit einem CI erwogen werden (siehe unten im Kapitel 2.3.2 „Voraussetzungen für eine Cochlea-Implantation“) (30).

Bei einem Hörverlust  $\geq 35$  dB und Vorliegen einer kombinierten Schwerhörigkeit mit einem Schalleitungsanteil  $\leq 60$  dB sollte bis zu einem Alter von 6 Lebensmonaten eine audiologische Kontrolle erfolgen (29). Bis zu einem Lebensalter von 12 Lebensmonaten kann bei Persistenz entweder eine Parazentese (PC) und Paukendrainage (PD) erfolgen oder ein HdO-HG verordnet werden (29). Nach erfolgter PC und PD sollte erneut eine audiologische Kontrolle erfolgen und bei Persistenz der Schwerhörigkeit ein HdO-HG verordnet werden (29).

Bei einem Hörverlust  $\geq 35$  dB und bestehender Schalleitungsschwerhörigkeit kann im Alter von 6 Monaten ein Knochenleitungs-Hörgerät (KL-HG) verordnet werden (29). Bei anhaltendem Hörverlust kann im Schulalter eine Tympanoplastik zur Behebung der Schalleitungskomponente erfolgen (29).

Bei Vorliegen einer einseitigen Hörstörung sollte eine Versorgung mit einem Hörgerät angeboten werden, da diese das Richtungshörvermögen und das Sprachverständnis bei Störgeräuschen beeinträchtigen kann (28). Wenn eine Seitendifferenz  $\geq 70$  dB vorliegt, gibt es die Möglichkeit der CI-Versorgung bis zum 4. Lebensjahr (29).

Insgesamt unterscheidet sich die Therapieindikation einer Schwerhörigkeit im Kindesalter von der im Erwachsenenalter, wobei bei Kindern bereits auch geringgradige Hörverluste versorgt werden (29). Das sprachaudiometrische Diskriminationsvermögen (geringer als 80% bei 55/65/80 dB) allein ist nicht ausschlaggebend für die Versorgung mit einem Hörgerät, denn auch andere Aspekte, wie z.B. die Sprachentwicklung, Trageakzeptanz und schulische Aspekte sind dabei von Bedeutung (29).

Im Allgemeinen gilt bei Kindern, dass die Versorgung mit einem Hörgerät indiziert ist, wenn die Hörschwelle in mindestens 2 Frequenzen des Hauptsprachbereichs bei  $\geq 30$  dB liegt (29).

## **2.3 Cochlea-Implantat**

### **2.3.1 Funktionsweise**

Das CI ist aus mehreren Komponenten aufgebaut. Außen am Kopf werden ein Audioprozessor mit Mikrofon und eine Sendespule getragen (37). Die Sendespule ist über einen Magneten über der implantierten Empfangsspule fixiert (37).

Mithilfe des Mikrophons können akustische Signale aufgenommen und in elektrische Signale umgewandelt werden (37). Diese werden dann dem Audioprozessor zugeleitet, analysiert und gemäß patientenabhängiger gespeicherter Daten in elektrische Stimulationsmuster umgewandelt (37). Anschließend werden diese über die externe Sendespule drahtlos transkutan der implantierten Empfangsspule übertragen (37). Die Signale werden anschließend im Stimulator zu Reizen für die einzelnen Elektroden decodiert und über ein Kabel zu diesen geleitet (37). Der Elektrodenträger ist meist über das runde Fenster in die Cochlea eingeschoben und die einzelnen Elektroden liegen somit unterschiedlich weit in der Scala tympani (7). Der in die Scala tympani eingeführte Elektrodenträger besitzt je nach Hersteller eine unterschiedliche Anzahl an Elektroden (12-22 Elektroden) (37). Durch die unterschiedliche Lage der Elektroden können verschiedene Abschnitte der Basilarmembran und die zugehörigen Ganglienzellen des Hörnerven gereizt werden (7). Die tonotope Gliederung wird also nachgebildet. Die zeitliche Abfolge der akustischen Information wird durch die Reizrate an jeder Elektrode wiedergespiegelt (7).

Die Energieversorgung der implantierten Komponenten erfolgt wie die Informationsübertragung per Induktion (37). Das heißt die Laufzeit des Implantates ist nicht durch eine verbaute und limitierte Energiequelle begrenzt, wie z.B. bei Herzschrittmachern.

Eine spezielle Versorgungsmöglichkeit gibt es durch die Kombination aus einem CI und Hörgerät, welches als EAS (Elektrisch-akustische Stimulation)-System bezeichnet wird (38, 39). Von einem EAS profitieren Kinder, bei denen eine partielle hochgradige Schwerhörigkeit oder Taubheit im Hochfrequenzbereich, aber eine normale Hörschwelle oder relevanter Hörrest im Tieffrequenzbereich besteht (38,

39). Eine partielle Schwerhörigkeit tritt z.B. nach onkologischer Therapie mit ototoxischen Medikamenten auf, insbesondere Platin-haltigen Medikamenten z.B. Cisplatin oder Carboplatin (40).

Ab dem Zeitpunkt der Versorgung mit einer Hörhilfe sammelt das Kind Hörerfahrung. Die Qualität der Hörerfahrung ist dabei abhängig von der Tragedauer und dem Nutzen, den das Hörsystem dem Kind bringt (28, 30, 41). Das Höralter gibt die Zeit an Hörerfahrung an. Wenn das Kind mit einem Hörsystem versorgt war und damit einen guten Gewinn hatte, desto mehr Hörerfahrung konnte es sammeln bzw. desto mehr zentrale Hörverarbeitung konnte stattfinden, was Einfluss auf den Erfolg des CI hat (41-45).

### **2.3.2 Voraussetzungen für eine Cochlea-Implantation**

Zunächst wird auf die Indikationen für eine Cochlea-Implantation bei Kindern, die bereits vor Spracherwerb (prälingual) ertaubt sind oder während des Spracherwerbs (perilingual) ertauben oder resthörig werden, eingegangen.

Die Indikation zur CI-Versorgung von Kindern mit ein- oder beidseitiger Hörstörung besteht dann, wenn nach vorangegangener Beobachtungsphase und optimaler Versorgung mit Hörgeräten mit zusätzlicher Frühförderung mit einem CI ein besseres Hör- und Sprachverstehen erwartet werden kann als mit einem Hörgerät (28, 30, 38). Ein Sonderfall stellt die bakterielle Meningitis dar, da durch eine obliterierende Labyrinthitis eine intracochleäre Elektrodenplatzierung später erschwert bis nicht mehr möglich sein kann (28, 30, 38). Aus diesem Grund sollten so schnell wie möglich diagnostische Maßnahmen und ggf. eine Versorgung mit einem CI erfolgen (38).

Ab einem Hörverlust von >70 dB HL sollte geprüft werden, ob die Voraussetzungen für eine CI-Versorgung vorliegen (30). Dabei sollten aber neben audiologischen auch andere Kriterien miteinbezogen werden, wie z.B. der Sprachentwicklungsstand, die kommunikativen Kompetenzen, der allgemeine Entwicklungsstand und soziefamiliäre Aspekte (30).

Ein besonders wichtiges Entscheidungskriterium für die Indikationsstellung im Kindesalter ist das Sprachverständnis (38), wobei das akustische Verstehen bzw. diskriminieren von Sprache gemeint ist, nicht das inhaltliche, semantische Erfassen von Sprache.

## Literaturdiskussion

Wenn die Voraussetzungen für eine CI-Versorgung bei seitengleichem Gehör bilateral vorliegen, dann sollte die Implantation (simultan oder sequentiell) bilateral erfolgen (30).

Bei Säuglingen, die an einer angeborenen beidseitigen Taubheit leiden, ist eine CI-Versorgung ab der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres möglich (28, 30).

Bei resthörigen Kindern sollte erst nach einer Beobachtungsphase und mit geeigneter Therapie und Frühförderung die Indikation zur CI-Versorgung gestellt werden (30, 38).

Kinder, die an einer einseitigen Taubheit auf dem einen Ohr und einem gering- bis mittelgradigem Hörverlust auf dem anderen Ohr leiden, sollten unilateral auf dem tauben Ohr mit einem CI und mit einem konventionellem Hörsystem auf der kontralateralen Seite versorgt werden (30).

Eine EAS-Versorgung bei Kindern mit partieller Schwerhörigkeit im Hochtonbereich bei ausreichendem Hörvermögen im Tieftonbereich sollte in Betracht gezogen werden, wenn nach Erprobung eines Hörgerätes, ggf. mit Frequenzerniedrigung, kein ausreichender Gewinn erzielt werden kann und ein unzureichendes Hörvermögen und Sprachverstehen bestehen (30, 46). Für die Indikationsstellung kann dabei eine durch die Hörstörung bedingte Artikulationsstörung berücksichtigt werden (30).

Kinder mit einer einseitigen höhergradigen Hörstörung mit und ohne Tinnitus sollten bei erheblicher Einschränkung der Lebensqualität ggf. nach erfolgloser Erprobung anderer technischer Hilfsmittel (z.B. CROS(Contralateral Routing of Signals)-Systemen als HdO-CROS per Funk oder BiCROS oder Knochenleitungs-CROS, z.B. auch geklebt oder implantiert) mit einem CI versorgt werden, sofern keine Kontraindikationen für eine CI-Versorgung bestehen (30).

Bei Kindern und Jugendlichen, die nach Spracherwerb (postlingual) ertaubt und resthörig sind, sollte die Indikation für eine Cochlea-Implantation gestellt werden, wenn das monaurale Einsilberverstehen im freien Schallfeld mit einem Hörgerät bei einem Schallpegel von 65 dB Sound pressure level (SPL)  $\leq$  60% beträgt (30). Dabei kann auch noch nach langjähriger Ertaubung die Indikation zur CI-Versorgung gestellt werden (30).

Das Vorgehen bei Hörnervenaplasie oder hypoplastischem Hörnerven ist aktuell nicht mehr Gegenstand der Leitlinie „Cochlea-Implantat-Versorgung“.

Literaturdiskussion

Bei beidseits nicht funktionsfähigem Hörnerven aber intakter zentraler Hörbahn gibt es die Möglichkeit der Versorgung mittels Hirnstammimplantat (ABI (Auditory Brainstem Implant) (47). Das ABI funktioniert ähnlich wie ein CI, wobei die Elektrode entweder direkt den funktionsfähigen Hörnervenkern oder andere zentrale auditorische Strukturen elektrisch reizt, wodurch es dann zu einer Hörempfindung kommt (47). Die Versorgung mit ABI kann dann indiziert sein, wenn aufgrund von anatomischer Besonderheiten die Elektrode eines CIs nicht adäquat eingesetzt werden kann, wie z.B. bei einer Hörnervenaplasie oder Ertaubung durch Meningitis mit Obliteration (47). Das ABI kann bei einigen Patienten zu einer Verbesserung der Geräuschwahrnehmung führen, insgesamt fallen die Ergebnisse aktuell allerdings noch eher mäßig aus (47).

### **2.3.3 Diagnostik vor Implantation**

Das Hören, sowie Hör-, Sprech- und Sprachstatus mit Sprachentwicklung und Kommunikationskompetenz sollten durch einen Facharzt für Phoniatrie und Pädaudiologie, einen Hörgeschädigten-Pädagogen und Logopäden beurteilt werden (28, 30).

Des Weiteren gehören entwicklungsneurologische Zusatzuntersuchungen zur Erkennung weiterer Behinderungen oder Teilleistungsstörungen und eine psychosoziale Diagnostik zur Diagnostik vor Implantation (28, 30). Pädiater oder pädiatrische Frühdiagnosezentren können bei der Beurteilung prognostisch relevanter Begleiterkrankungen hinzugezogen werden (38).

Vor der Versorgung mit einem CI sollte eine Versorgung mit einem Hörgerät erfolgt sein, da somit möglicherweise bestehende Hörreste stimuliert werden können (28, 30). Fördereinrichtungen und CI-Zentren können dabei helfen, die Indikation zu stellen (38).

Man sollte die Eltern über den Verlauf der CI-Versorgung, den operativen Eingriff und seine Risiken, die Nachsorge und Erfolgsaussichten beraten und aufklären (30, 38).

Wenn die Indikation zur CI-Versorgung gestellt wird, sollte diese so schnell wie möglich leitlinienkonform eingeleitet werden, um die Hörbahnreifung des Kindes zu verbessern (28, 30).

Zur präoperativen Diagnostik gehören Anamnese und klinische Untersuchung (28, 30). Dabei ist es wichtig, den Mittelohrstatus genau zu erfassen und ggf. dortige Prozesse und deren Ursache vor einer CI-Operation zu sanieren (30). Zusätzlich

Literaturdiskussion

sollten eine augenärztliche und ggf. weitere konsiliarische Untersuchungen erfolgen (28).

Des Weiteren gehören Methoden der subjektiven und objektiven Audiometrie zur präoperativen Diagnostik (28, 30).

Im Rahmen der objektiven Audiometrie sollte eine frequenzspezifische Schwellenobjektivierung und ggf. eine Elektrocochleographie durchgeführt werden (28, 30).

Ein weiterer Bestandteil der präoperativen Diagnostik sind bildgebende Verfahren, um die anatomischen Verhältnisse des Kindes zu erkennen und insbesondere um herauszufinden, wie die Cochlea angelegt ist, ob ein Hörnerv vorhanden ist oder ob andere relevante Fehlbildungen oder anatomische Varianten vorliegen, wie z.B. ein hochstehender Bulbus der Sinusvene, Balkenfehlbildungen, Gefäßanomalien (v.a. Aneurysmata), Neoplasien oder auch erweiterte Liquorräume (7, 34, 35, 48-51). Dabei werden auch Reifezeichen wie Gyrierung des Cerebrums oder die weiße und graue Substanz beurteilt (30, 34, 35, 48-51). Dem klinischen Standard entsprechen derzeit ein hochauflösendes Computertomogramm (CT) Felsenbein sowie ein hochauflösendes Magnetresonanztomogramm (MRT) Felsenbein und KHBW (28, 34, 35, 51).

Mit Hilfe eines Dünnschicht-Felsenbein-CT können Malformationen, z.B. der Bogengänge oder der Cochlea oder ein atypischer Verlauf des Fazialis/-kanals sowie auch ein erweiterter Aquaeductus vestibuli, ausgeschlossen werden (48-50). Insgesamt werden mittels CT gut knöcherne Strukturen und auch das Innenohr abgebildet (35, 48). Dabei wird inzwischen auch der knöcherne Nerveneintrittspunkt in die Cochlea (Radix cochlearis) als indirekter Hinweis für eine Nervenanlage mit beurteilt (51, 52).

Die magnetresonanztomografische Untersuchung des Felsenbeins vor Cochlea-Implantation erfolgt mit einer speziellen Kopfspule (34). Sie wird in axialer (parallel zur vorderen Schädelbasis) und koronarer (senkrecht auf den harten Gaumen) Ebene durchgeführt. Dabei werden hochauflösende 3D-T2-gewichtete Sequenzen in Farbspinechotechnik oder in Gradientenechotechnik angewendet, wie z.B. die constructive interference in steady-state-(CISS-)Sequenz (34). Zusätzlich werden T1-gewichtete Dünnschichtesequenzen, meistens hochauflösende T1-gewichtete Gradientenechesequenzen, durchgeführt, um pathologische Veränderungen vor und nach intravenöser Kontrastmittelgabe abzuklären (34).



Literaturdiskussion

Da das MRT im Gegensatz zum CT gut weiche Strukturen darstellt, liefert es Informationen zum achten Hirnnerven und seinen Aufteilungen (48, 53, 54). Ein regelrechter achter Hirnnerv ist wichtig für die optimale Funktion eines CI. Somit kann das MRT Hinweise liefern, inwiefern mit einem Erfolg von der Implantation auszugehen ist (53). Die CISS-Sequenz ist die empfohlene MRT-Sequenz zur Darstellung des N. vestibulocochlearis im inneren Gehörgang (55-57).

Das MRT ist nicht nur präoperativ, sondern auch postoperativ von Bedeutung, da die Beurteilbarkeit dieser Hirnregion durch Implantat bedingte Artefakte nicht mehr beurteilbar ist, auch wenn der Magnet entfernt wird (58).

Sowohl das CT als auch das MRT sind bedeutend, um ggf. Kontraindikationen für eine Versorgung mit einem CI zu detektieren (28, 30). Zudem kann abgeschätzt werden, wie kompliziert und schwer eine Operation (OP) sein wird und die passende Elektrode zur jeweiligen Anatomie ausgewählt werden (7, 51).

Eine Vestibularisdiagnostik mit ggf. thermischer Prüfung unter Videookulogramm-Brille gehören auch zur präoperativen Diagnostik, sofern das Kind dies umsetzen kann (28, 30). Eine Kalibrierung der Diagnostiksysteme, z.B. bei dem Videokopfpulstest, ist meist erst ab dem 4.-5. Lebensjahr möglich.

Vor einer CI-Versorgung sollten die Eltern ausreichend beraten werden (10, 28). Dabei sollten sie über das Implantat, verfügbare Systeme, alternative Therapiemöglichkeiten, den operativen Eingriff mit möglichen Risiken und Komplikationen, die postoperative Phase und Nachsorge und Rehabilitation informiert werden (28, 30).

Intraoperativ werden die Elektrodenimpedanzen und elektrisch evozierte Summenaktionspotentiale des Hörnervs (ECAP) gemessen, um die Lage und Funktionsfähigkeit des CI zu beurteilen (28). Bei den ersten Anpassungen kann man dann die daraus ermittelten Ergebnisse verwenden (28). Eine postoperative Lagekontrolle des Implantates, z.B. durch ein Röntgen Stenvers oder ggf. digitaler Volumetomographie oder CT ist ebenso Standard (39, 51).

#### **2.3.4 Nachbetreuung nach Cochlea-Implantation**

Nach erfolgreicher OP muss das Kind lernen, mit dem CI zu hören (28, 38). Dies stellt einen langen Prozess dar, in den ein multidisziplinäres Team involviert ist, zu dem neben den Eltern, Phoniatern und Pädaudiologen, technische Audiologen, Pädagogen, Therapeuten, Psychologen und auch Fördereinrichtungen gehören (38).

## Material und Methoden

Die Einstellungen des Audioprozessors müssen im Verlauf individuell angepasst und oftmals auch mehrfach korrigiert werden (28, 29, 38). Die Anpassung richtet sich in der Regel nach der Hör- und Sprachentwicklung sowie an audiometrischen Ergebnissen, wie Sprachaudiometrie und Aufblähkurve (28).

Bei Kindern gestaltet sich diese Aufgabe schwieriger als bei Erwachsenen, da die Wahrnehmungs- und Unbehaglichkeitsschwelle in der Regel schwierig zu bestimmen ist (38). Insbesondere bei Kindern, die nicht kooperationsfähig sind oder keine Reaktionen zeigen, können ergänzend ECAPs gemessen werden (28). Die Programmierung des CI wird durch einen erfahrenen technischen Audiologen und/oder Medizinphysiker/-Ingenieur vorgenommen (38).

Zur Einstellung des Audioprozessors werden mit geeigneten Verfahren die Stimulationsstärken und -parameter genau auf das Kind abgestimmt (29).

Weiterhin sollten regelmäßig technische Kontrollen durchgeführt werden, um technische Defekte frühzeitig zu erkennen und zu beheben (7). Die technische Funktionsfähigkeit wird kontrolliert, indem man die Elektrodenimpedanzen misst und die externen Teile überprüft (28).

Die Hör- und Sprachhabilitation und Rehabilitation sind von zentraler Bedeutung nach der CI-Versorgung und sollte gemäß den Kriterien der hörgerechtigten Förderung ablaufen (28). Neben Pädagogen und Sprachtherapeuten sollten dabei auch die Eltern intensiv mit einbezogen werden (28). Inzwischen finden diese Anforderungen und spezialisierten Verfahren im Rahmen der CI-Versorgung und Nachsorge in dafür qualifizierten und zertifizierten Zentren statt (28, 30).

## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Studiendesign**

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Studie. Es wurden Daten verwendet, die vorher an der Hals-, Nasen-, Ohrenklinik (HNO-Klinik) der Universitätsmedizin Mainz im Schwerpunkt Kommunikationsstörungen im klinischen Alltag erhoben worden waren.

### **3.2 Patientenkollektiv**

Die in die Studie eingeschlossenen Kinder erhielten Diagnostik und Therapie, die den Leitlinien und dem klinischen Standard des Schwerpunktes für

## Material und Methoden

Kommunikationsstörungen der HNO-Klinik Mainz als zertifiziertes Audiologisches Zentrum entsprechen. Anhand der Belegungspläne sowie der OP-Listen der Jahre 2014 und 2015 wurden Kinder unter 18 Jahren, bei denen eine stationäre CI-Diagnostik an der Universitätsmedizin Mainz zwischen den Jahren 2010 bis einschließlich 2015 durchgeführt wurde und die mindestens ein Cochlea-Implantat erhalten hatten oder erhalten sollten, herausgefiltert (59, 60). Voraussetzung für den Erhalt eines CIs war eine mindestens einseitige hochgradige bis an Taubheit grenzende Schwerhörigkeit, die durch andere Hörhilfen, wie z.B. Hörgeräte, nicht ausreichend behandelt werden konnte (59, 60). Die vorliegende Arbeit konzentrierte sich dabei auf das erstimplantierte Ohr.

Zu Beginn wurden die Daten von 87 Kindern analysiert und ausgewertet. Letztendlich erfüllten insgesamt 55 der anfangs 87 Kinder die Einschlusskriterien (59, 60).

### 3.3 Einschlusskriterien

Einschlusskriterien der Studie waren:

- Der Patient musste mindestens ein Cochlea-Implantat erhalten haben.
- Der Patient durfte zum Zeitpunkt der Bildgebung und Implantation nicht älter sein als 18 Jahre (216 Monate).
- Es musste eine präoperativ angefertigte MRT-Aufnahme des Schädels in CISS-Sequenz vorliegen.
- Die Nervi (Nn.) vestibulocochleares und Nn. cochleares mussten in der Bildgebung messbar sein.
- Postoperativ mussten pädaudiologische Untersuchungen an der Hals-, Nasen-, Ohrenklinik Mainz im Schwerpunkt Kommunikationsstörungen durchgeführt worden sein.

### 3.4 Ziele

Diese Studie hatte das Ziel, Folgendes zu ermitteln:

1. Gibt es eine signifikante Korrelation zwischen der Nervendicke und dem Alter bei Bildgebung:
  - a. des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres ( $d_{NVC}$ )?
  - b. des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres ( $d_{NC}$ )?

## Material und Methoden

2. Gibt es eine signifikante Korrelation zwischen der Nervendicke und dem Mittelwert der besten Aufblähkurve in der 2. Einstellphase ( $MW_{ABK}$ ):
  - a. des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres ( $d_{NVC}$ )?
  - b. des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres ( $d_{NC}$ )?
  
3. Gibt es einen signifikanten Unterschied der Nervendicke zwischen der rechten und linken Seite:
  - a. des N. vestibulocochlearis ( $d_{NVC\ rechts}$  und  $d_{NVC\ links}$ )?
  - b. des N. cochlearis ( $d_{NC\ rechts}$  und  $d_{NC\ links}$ )?
  
4. Gibt es einen signifikanten Unterschied der Nervendicke zwischen den Geschlechtern:
  - a. des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres ( $d_{NVC-M}$  und  $d_{NVC-W}$ )?
  - b. des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres ( $d_{NC-M}$  und  $d_{NC-W}$ )?
  
5. Gibt es eine signifikante Korrelation zwischen dem Mittelwert der besten Aufblähkurve in der 2. Einstellphase ( $MW_{ABK}$ ) und
  - a. dem Alter bei Implantation?
  - b. dem Höralter?
  
6. Gibt es einen signifikanten Unterschied der Mittelwerte der besten Aufblähkurve in der 2. Einstellphase zwischen den Geschlechtern ( $MW_{ABK-M}$  und  $MW_{ABK-W}$ )?
  
7. Gibt es einen signifikanten Unterschied der Nervendicke zwischen Good Performern (GP) und Bad Performern (BP):
  - a. des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres (GP  $d_{NVC}$  und BP  $d_{NVC}$ )?
  - b. des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres (GP  $d_{NC}$  und BP  $d_{NC}$ )?

8. Gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen Good Performern (GP) und Bad Performern (BP):
  - a. im Zeitpunkt der CI-Versorgung?
  - b. im Höralter?

### **3.5 Messinstrumente**

#### **3.5.1 Audiologische Untersuchungen**

Die audiologischen Daten wurden vom Schwerpunkt Kommunikationsstörungen der HNO-Klinik Mainz bereitgestellt.

Bei allen Kindern, die ein CI an der Universitätsmedizin Mainz erhalten haben, fanden postoperativ stationär audiologische Einstellphasen (Audioverbale Therapie, AVT) über mind. 3-5 Tage statt. Die 1. Einstellphase fand etwa vier Wochen nach Cochlea-Implantation und die 2. Einstellphase etwa vier Wochen nach der 1. Einstellphase statt. In der 1. Einstellphase erfolgte eine Anpassung des Audioprozessors. Das Kind erhielt dabei ggf. auch seinen allerersten Höreindruck. Während des stationären Aufenthaltes wurden die Einstellungen des CIs täglich – teilweise mehrfach – durch einen versierten Implantateinsteller und auch Medizinphysiker/-ingenieur angepasst und (päd-)audiologische Untersuchungen durchgeführt. Zusätzlich zu den Anpassungen des Audioprozessors (AP) erhielten die Kinder und ggf. deren Angehörige durch ein interdisziplinäres Team intensive hör-, sprach- und musiktherapeutische Behandlungen, z.B. auch mithilfe von (Orff'schen) Musikinstrumenten, Kinderliedern/-versen (auch Knieritterspielen) und auch technischen Programmen (z.B. dem Audiolog-Programm).

Da bei Kindern oftmals noch keine klassische Tonaudiometrie (Patient drückt auf einen Knopf, um anzugeben, dass er den Ton gehört hat) durchgeführt werden kann, wird die ABK je nach Alter und Entwicklungsstand des Kindes durch Freifeldreaktionen oder eigene Angaben ermittelt. Bei jungen Kindern ist die ABK zunächst Mittel der Wahl, um den Verlauf der Hörschwelle während der Einstellphase täglich zu dokumentieren und anhand derer auch die Einstellung zu optimieren und zu erkennen, wie stark sich das Hörvermögen des Patienten durch das Cochlea-Implantat verbessert hat. Die ABK ist vergleichbar, da sie keine sprachlichen Fähigkeiten voraussetzt. Dennoch müssen unter anderem (u.a.) eigene Angaben mit den Kindern geübt und ggf. auch konditioniert werden.

## Material und Methoden

In dieser Studie war die beste Aufblähkurve in der 2. Einstellphase von Interesse. Es wurden bei jedem Kind die Reaktionsschwellen der Lautstärkepegel in dB über die fünf Frequenzen 0,25 Kilohertz (kHz), 0,5 kHz, 1 kHz, 2 kHz und 4 kHz summiert und daraus der Mittelwert ( $MW_{ABK}$ ) gebildet. Dieser Mittelwert stellte in dieser Studie den frühen Hörerfolg des Kindes dar (59, 60).

### **3.5.2 Radiologische Untersuchungen**

Die radiologischen Daten wurden durch die Klinik und Poliklinik für Neuroradiologie der Universitätsmedizin Mainz bereitgestellt. Die MRT-Aufnahmen waren im Rahmen der stationären präoperativen Diagnostik vor CI-Versorgung entweder in der Universitätsmedizin Mainz oder extern angefertigt worden.

Bei 53 von 55 Patienten wurden die MRT-Bilder mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla (T) (Espree, Avanto und Symphony, Siemens, Erlangen, Germany) und bei 2 von 55 Patienten mit einer Feldstärke von 3 T (Trio und Skyra, Siemens, Erlangen, Germany) angefertigt (59).

53 von 55 Untersuchungen wurden in der Klinik und Poliklinik für Neuroradiologie der Universitätsmedizin Mainz, 2 von 55 Untersuchungen extern durchgeführt. Bei jedem inkludierten Patienten wurde eine isovolumetrische 3D-CISS (constructive interference in steady-state)-Sequenz mit jeweiligen Kopfspulen des Herstellers transversal akquiriert (55). Im Folgenden sind die Akquisitionsparameter in Tabelle 2 dargestellt.

## Material und Methoden

**Tabelle 2:** Übersicht über die verschiedenen Akquisitionsparameter.

Gerät	Feldstärke (T)	ST (mm)	Voxel (mm)	TR (ms)	TE (ms)	FA (°)	FoV	M	TA (min)	BW (Hz/p)	NSA	n
Avanto <sup>a</sup>	1,5	1	1 x 1 x 1	6,01	2,62	70	180 x 180	384 x 384	05:47	255	1	9
Avanto <sup>b</sup>		0,7	0,7 x 0,7 x 0,7	5,98	2,67	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1
Esprea <sup>a</sup>	1,5	1	1 x 1 x 1	9,1	4,55	70	180 x 180	384 x 384	05:47	255	1	42
Skyra <sup>a</sup>	3	1	1 x 1 x 1	8,56	3,91	50	150 x 150	320 x 320	06:69	460	1	1
Trio <sup>a</sup>	3	0,5	0,5 x 0,5 x 0,5	12,2	6,1	50	180 x 180	512 x 512	07:37	130	1	1
Symphony <sup>c</sup>	1,5	0,5	0,5 x 0,5 x 0,5	11,6	5,8	70	180 x 180	512 x 384	n.e.	130	1	1

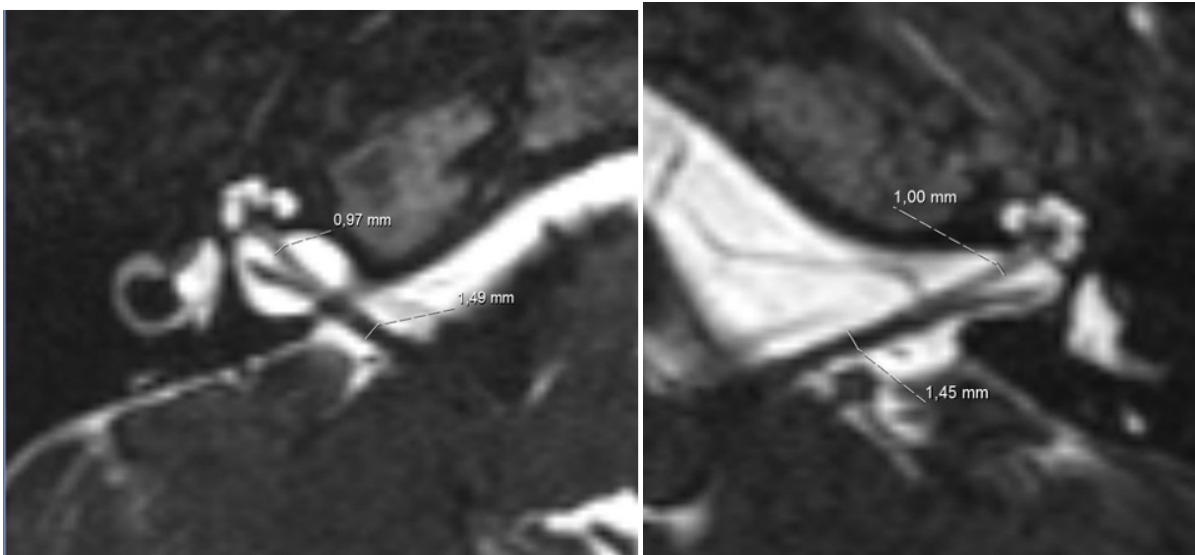
Legende: ST = slice thickness, mm = Millimeter, TR = repetition time, ms = Millisekunde, TE = echo time, FA = flip angle, FoV = Field of View, M = Matrix, TA = acquisition time, BW = pixel bandwidth, Hz/p = Hertz/Pixel, NSA = number of signal averages, n = Anzahl, n.e. = nicht ermittelbar.

a: Klinik und Poliklinik für Neuroradiologie, Universitätsmedizin Mainz, b: DKD Wiesbaden, c: Ort nicht bekannt.

Zur Darstellung der Bilddaten und zur manuellen Messung wurde das Programm Sectra IDS7 (Version 17.1.4.3276; Sectra AB, Linköping, Schweden) verwendet. Es wurde auf den transversalen Schichten der größte Durchmesser des N. vestibulocochlearis und N. cochlearis innerhalb des inneren Gehörgangs gemessen (59, 60).

Die Messungen wurden durch einen Untersucher durchgeführt. Insgesamt wurde jeder Hörnerv der 55 Patienten drei Mal und immer bilateral gemessen. Dies ergibt insgesamt 330 Messungen des N. vestibulocochlearis und 330 Messungen des N. cochlearis (59, 60). Aus den drei Messungen jedes Hörnervs wurde der Mittelwert gebildet. Dieser Mittelwert wurden dann für die Auswertungen verwendet (59, 60).

Die folgende Abbildung (Abb. 3) zeigt Beispiele für die Hörnervenmessungen.



**Abbildung 3:** Bildbeispiel für die Messung des N. vestibulocochlearis und des N. cochlearis in der CISS-Sequenz an den Messpunkten im inneren Gehörgang (59, 60). Links: Messung  $d_{NVC}$  von 1,49 Millimeter (mm) und  $d_{NC}$  von 0,97 mm. Rechts: Messung  $d_{NVC}$  von 1,45 mm und  $d_{NC}$  von 1,00 m

### 3.6 Studiendurchführung

#### 3.6.1 Sicherheit der Teilnehmer

Aufgrund des retrospektiven Ansatzes der Studie wurden alle Patientendaten vor Studienbeginn aus diagnostischen und therapeutischen Gründen von Mitarbeitern der HNO-Klinik der Universitätsmedizin Mainz des Schwerpunktes Kommunikationsstörungen und der Klinik und Poliklinik für Neuroradiologie der Universitätsmedizin Mainz im klinischen Alltag nach den Leitlinien und klinikeigenem Standard erfasst. Für die Studie wurden die Daten anonymisiert gesammelt und ausgewertet. Patientenbezogene Daten wurden nicht an Dritte übermittelt. Es wurden ausschließlich die Patientendaten verwendet, die im Rahmen der Behandlung der Schwerhörigkeit erfasst worden waren. Für die CI-Diagnostik der minderjährigen Kinder lag die Einwilligung der Eltern beziehungsweise der Erziehungsberechtigten vor.

Wie oben bereits erwähnt sollten Schwerhörigkeiten, die angeboren sind oder in der Kindheit auftreten, in der Regel so früh wie möglich in der Kindheit adäquat und angemessen nach den vorgegebenen Qualitätsstandards behandelt werden.

Die Fragestellung dieser Studie hätte mit erwachsenen Teilnehmern nicht beantwortet werden können.



## Material und Methoden

Studienteilnehmer hatten durch diese Studie keine Nachteile. Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns wurden keine Änderungen an der Behandlung der Patienten getroffen. Alle Patienten haben die Diagnostik und Therapie erhalten, die den Leitlinien und dem klinischen Standard der Klinik für Kommunikationsstörungen der HNO-Klinik Mainz als durch die Deutsche Gesellschaft für Audiologie zertifiziertes Audiologisches Zentrum entspricht.

### **3.6.2 Einteilung der Patientengruppen**

Die Kinder wurden anhand ihrer tonaudiometrisch ermittelten Hörleistung entweder der Gruppe der Good Performer (GP) oder der Bad Performer (BP) zugeteilt (59, 60). Die Hörleistung wurde anhand der besten ABK in der 2. stationären Einstellphase (AVT) bestimmt. Je höher der Dezibelwert der ABK ist, desto lauter muss der Ton sein, damit er vom Kind wahrgenommen wird. Das bedeutet, dass je niedriger die Dezibelwerte der ABK sind, desto leiser werden die Töne von Kind wahrgenommen. In der Studie wurde von jedem Kind der Mittelwert der besten Aufblähkurve in der 2. Einstellphase ( $MW_{ABK}$ ) in dB über die fünf Frequenzen 0,25/0,5/1/2/4 kHz gebildet. Mithilfe der einzelnen Mittelwerte wurde eine Gesamtverteilung erstellt. Die Kinder, die einen Mittelwert unterhalb der 50. Perzentile bei der 2. Einstellphase nach Cochlea-Implantation hatten, wurden den GP zugeteilt. Die Kinder mit einem Mittelwert oberhalb der 50. Perzentile wurden den BP zugeteilt (59, 60).

## **3.7 Statistik**

Die Daten wurden anonymisiert im Programm Excel (Microsoft Office Excel für Mac) in einer Tabelle gesammelt und anschließend ins Statistikprogramm SPSS 23 (IBM, SPSS Statistics) übertragen und damit ausgewertet.

### **3.7.1 Graphische Darstellungen**

Die graphische Darstellung erfolgte einerseits in Form von Tabellen und andererseits in Form von Histogrammen, Balken- und Kreisdiagrammen oder Boxplots.

Boxplots eignen sich gut dazu, die Häufigkeitsverteilung quantitativer Merkmale darzustellen (61). So kann man z.B. zwei Stichproben grafisch gegenüberstellen. Jede Stichprobe wird dabei durch eine rechteckige Box dargestellt (61). Begrenzt wird diese unten und oben vom 1. und 3. Quartil (61). Der Median liegt innerhalb der Box (61). Von der Box gehen zwei Striche aus, die als „Whisker“ bezeichnet werden.

Ergebnisse

Diese zeigen an, wo jeweils das Minimum und Maximum der Stichprobe liegt (61). Mithilfe der Boxplots kann man Lagemaße und Streuungsmaße ablesen (61).

### **3.7.2 Berechnung von Korrelationen**

Um zu prüfen, ob ein Zusammenhang zwischen stetigen Merkmalen besteht, wurde mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS 23 jeweils die bivariate Korrelation nach Spearman ermittelt. Das Signifikanzniveau wurde hierbei jeweils auf 0,05 festgesetzt. Mithilfe der Rangkorrelation nach Spearman kann man die Stärke eines monotonen Zusammenhangs messen (61). Sie kann also bei nicht linearen Zusammenhängen verwendet werden (61). Die Werte werden der Größe nach sortiert und mit Rangzahlen versehen. Aus den Differenzen der Rangzahlen wird dann der Spearman-Korrelationskoeffizient berechnet (61). Dieser kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Bei streng monotonem Zusammenhang wird der Betrag 1 angenommen (61). Ein gleichsinniger Zusammenhang wird durch ein positives Vorzeichen beschrieben, ein gegensinniger Zusammenhang durch ein negatives Vorzeichen (61). Wenn kein monotoner Zusammenhang besteht, nimmt der Korrelationskoeffizient den Wert 0 an (61).

### **3.7.3 Berechnung von Unterschieden**

Zur Untersuchung von Unterschieden zwischen zwei Stichproben wurden in dieser Arbeit zwei verschiedene Tests angewendet. Der Mann-Whitney-U-Test wurde angewendet, um Unterschiede zwischen zwei unverbundenen Stichproben zu untersuchen (61). Der Wilcoxon-Test wurde angewendet, um Unterschiede zwischen zwei verbundenen Stichproben zu untersuchen (61). Beide Tests können verwendet werden, wenn keine Normalverteilung oder Symmetrie der Werte vorliegen (61). Das Signifikanzniveau wurde bei beiden Tests auf 0,05 festgesetzt.

## **4 Ergebnisse**

### **4.1 Deskriptive Daten des gesamten Patientenkollektivs**

12 von 87 Patienten mussten ausgeschlossen werden, da aus verschiedenen Gründen letztendlich doch keine Implantation stattfand. Gründe dafür waren beispielsweise, dass die Eltern mehr Zeit zur Entscheidungsfindung brauchten, der OP-Termin nicht vereinbart oder abgesagt wurde, dass die Hörgeräteversorgung

## Ergebnisse

einen ausreichenden Gewinn erbrachte oder dass aufgrund anatomischer Verhältnisse eine operative Versorgung mit einem CI mit einem sehr hohen OP-Risiko verbunden war. Bei 15 der 87 Patienten, die mindestens ein Cochlea-Implantat erhalten hatten, wurde präoperativ kein MRT in CISS-Sequenz durchgeführt, sodass das MRT nicht für die Studie verwendet werden konnte und somit eine Messung der Hörnerven nicht möglich war. 1 Patient musste ausgeschlossen werden, da die Qualität der Bildgebung nicht gut genug war. 1 weiterer Patient war zum Zeitpunkt der Bildgebung und Cochlea-Implantation über 18 Jahre alt und musste deshalb ausgeschlossen werden. 3 von 87 Patienten schieden aus, weil die postoperative Einstellphase des Cochlea-Implantats nicht an der Universitätsmedizin Mainz stattfand, die Einstellphase des Cochlea-Implantats nicht unter den vorgegebenen Bedingungen stattfand oder noch nicht stattgefunden hatte. Insgesamt konnten 55 Patienten in die Studie eingeschlossen werden. Die Patienten hatten zwischen den Jahren 2010 und 2015 ihr erstes Cochlea-Implantat erhalten (59, 60).

### **4.1.1 Geschlechterverteilung**

Das Patientenkollektiv bestand insgesamt aus 25 (45%) Mädchen und 30 (55%) Jungen.

### **4.1.2 Verteilung der Ursachen der Schwerhörigkeit**

Bei 34 Kindern (62%) war die Ursache der Schwerhörigkeit zum Zeitpunkt der Diagnostik bzw. Implantation noch unklar. 14 Kinder (25%) waren von einer hereditären Hörstörung betroffen, bei 2 Kindern (4%) war die Ursache eine konnatale Infektion und bei 1 Kind (2%) eine Meningitis. Bei 4 Kindern (7%) lagen andere Ursachen für die Hörstörung vor.

### **4.1.3 Verteilung von uni- oder bilateralen Hörstörungen sowie Verteilung der Hörgeräteversorgung**

53 Kinder (96%) litten an einer bilateralen Hörstörung, 2 Kinder (4%) waren nur unilateral betroffen.

53 Kinder (96%) waren vor Cochlea-Implantation mit einem Hörgerät versorgt. 2 Kinder (4%) waren vorher nicht mit einem Hörgerät versorgt worden.

Ergebnisse

#### **4.1.4 Verteilung des Alters bei Bildgebung**

Das durchschnittliche Alter bei Bildgebung lag bei 3;10 Jahren (3 Jahre 10 Monate) (46 Monate, Standardabweichung (SD) 44,4 Monate). Der Median lag bei 2;10 Jahren (34 Monate). Das Alter bei Bildgebung reichte von 5 Monaten bis 15;11 Jahren (191 Monate). Die 25. Perzentile lag bei 1;03 Jahren (15 Monate), die 75. Perzentile lag bei 5;00 Jahren (60 Monate).

Tabelle 8 im Anhang gibt eine Übersicht über das Alter bei Bildgebung.

#### **4.1.5 Verteilung der Magnetresonanztomographen**

42 (76%) MRT-Aufnahmen wurden mit dem Magnetom „Espree“, 10 (18%) mit dem Magnetom „Avanto“, 1 (2%) mit dem Magnetom „Symphony“, 1 (2%) mit dem Magnetom „Trio“ und 1 (2%) mit dem Magnetom „Skyra“ aufgenommen.

#### **4.1.6 Verteilung der Feldstärke der Magnetresonanztomographen und Verteilung der Schichtdicken des angefertigten MRT**

53 (96%) MRT-Untersuchungen wurden mit 1,5 Tesla-Geräten aufgenommen. Bei 2 (4%) Kindern hatte der Magnetresonanztomograph eine Feldstärke von 3 Tesla.

Bei 2 Kindern (4%) lag eine Schichtdicke von 0,5 mm vor, bei 1 Kind (2%) lag eine Schichtdicke von 0,7 Millimeter (mm) vor. 52 Kinder (95%) hatten im angefertigten MRT eine Schichtdicke von 1 mm.

#### **4.1.7 Verteilung der Dicken des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis der rechten und der linken Seite**

Die mittlere Dicke des N. vestibulocochlearis des rechten Ohres  $d_{NVC\ rechts}$  lag bei 1,23 Millimeter (mm) (SD 0,19 mm). Der Median von  $d_{NVC\ rechts}$  lag bei 1,23 mm. Das Minimum lag bei 0,83 mm, das Maximum lag bei 1,58 mm.

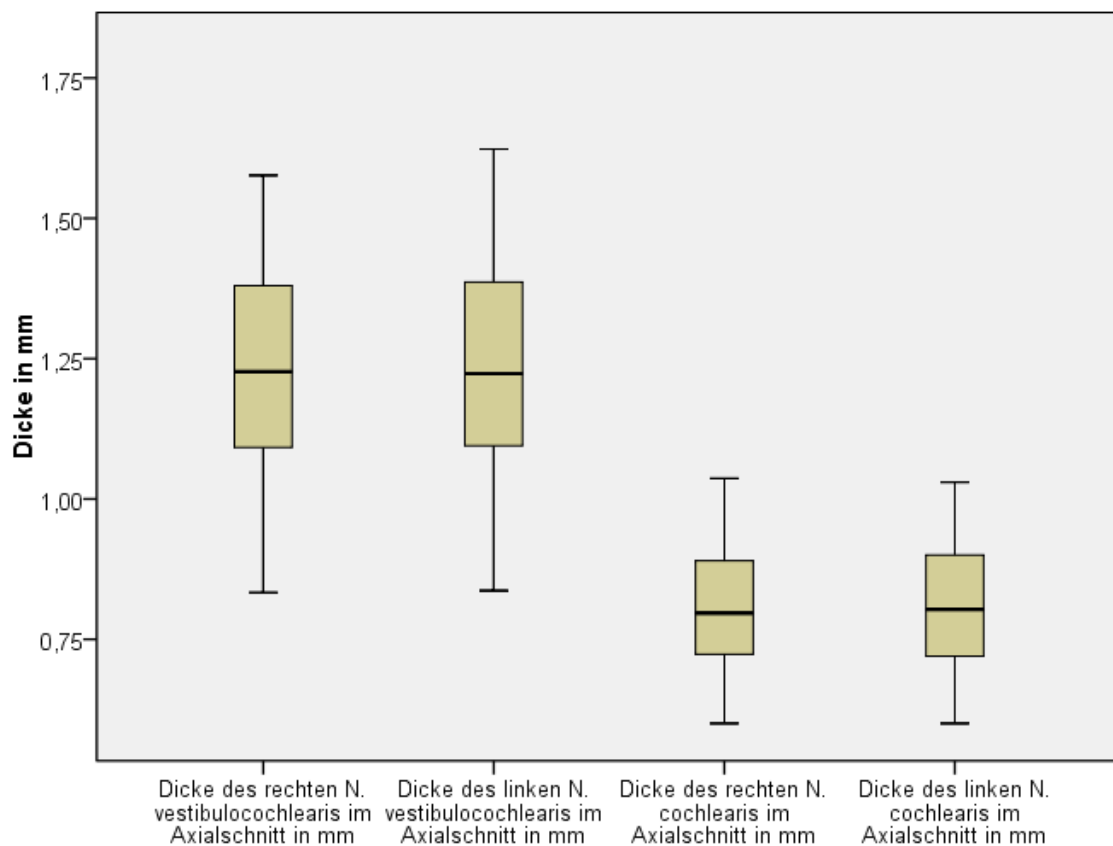
Die mittlere Dicke des N. vestibulocochlearis des linken Ohres  $d_{NVC\ links}$  lag bei 1,23 mm (SD 0,19 mm). Der Median von  $d_{NVC\ links}$  lag bei 1,22 mm. Das Minimum lag bei 0,84 mm, das Maximum lag bei 1,62 mm.

Die mittlere Dicke des N. cochlearis des rechten Ohres  $d_{NC\ rechts}$  lag bei 0,80 mm (SD 0,11 mm). Der Median von  $d_{NC\ rechts}$  lag bei 0,80 mm. Das Minimum lag bei 0,60 mm, das Maximum lag bei 1,04 mm.

## Ergebnisse

Die mittlere Dicke des N. cochlearis des linken Ohres  $d_{NC\ links}$  lag bei 0,81 mm (SD 0,11 mm). Der Median von  $d_{NC\ links}$  lag bei 0,80 mm. Das Minimum lag bei 0,60 mm, das Maximum lag bei 1,03 mm.

Die folgende Abbildung (Abb. 4) stellt in Form von Boxplots die Verteilung der Dicken des rechten und des linken N. vestibulocochlearis ( $d_{NVC\ rechts}$  und  $d_{NVC\ links}$ ) sowie des rechten und des linken N. cochlearis ( $d_{NC\ rechts}$  und  $d_{NC\ links}$ ) dar. Die folgende Tabelle (Tab. 3) gibt eine Übersicht über die Nervendicken  $d_{NVC\ rechts}$  und  $d_{NVC\ links}$  sowie  $d_{NC\ rechts}$  und  $d_{NC\ links}$ .



**Abbildung 4:** Boxplots: Verteilung der  $d_{NVC\ rechts}$  und  $d_{NVC\ links}$ , sowie der  $d_{NC\ rechts}$  und  $d_{NC\ links}$ .

**Tabelle 3:** Übersicht über die Nervendicken der rechten und linken Seite.

	d <sub>NVC</sub> rechts	d <sub>NVC</sub> links	d <sub>NC</sub> rechts	d <sub>NC</sub> links
Mittelwert (MW)	1,23 mm (±0,19 mm)	1,23 mm (±0,19 mm)	0,80 mm (±0,11 mm)	0,81 mm (±0,11 mm)
Median	1,23 mm	1,22 mm	0,80 mm	0,80 mm
Minimum	0,83 mm	0,84 mm	0,60 mm	0,60 mm
Maximum	1,58 mm	1,62 mm	1,04 mm	1,03 mm

#### 4.1.8 Verteilung der Dicken des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis des erstimplantierten Ohres

Die mittlere Dicke des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres d<sub>NVC</sub> lag bei 1,23 mm (SD 0,19 mm). Der Median lag bei 1,23 mm. Das Minimum lag bei 0,83 mm, das Maximum lag bei 1,58 mm (59, 60).

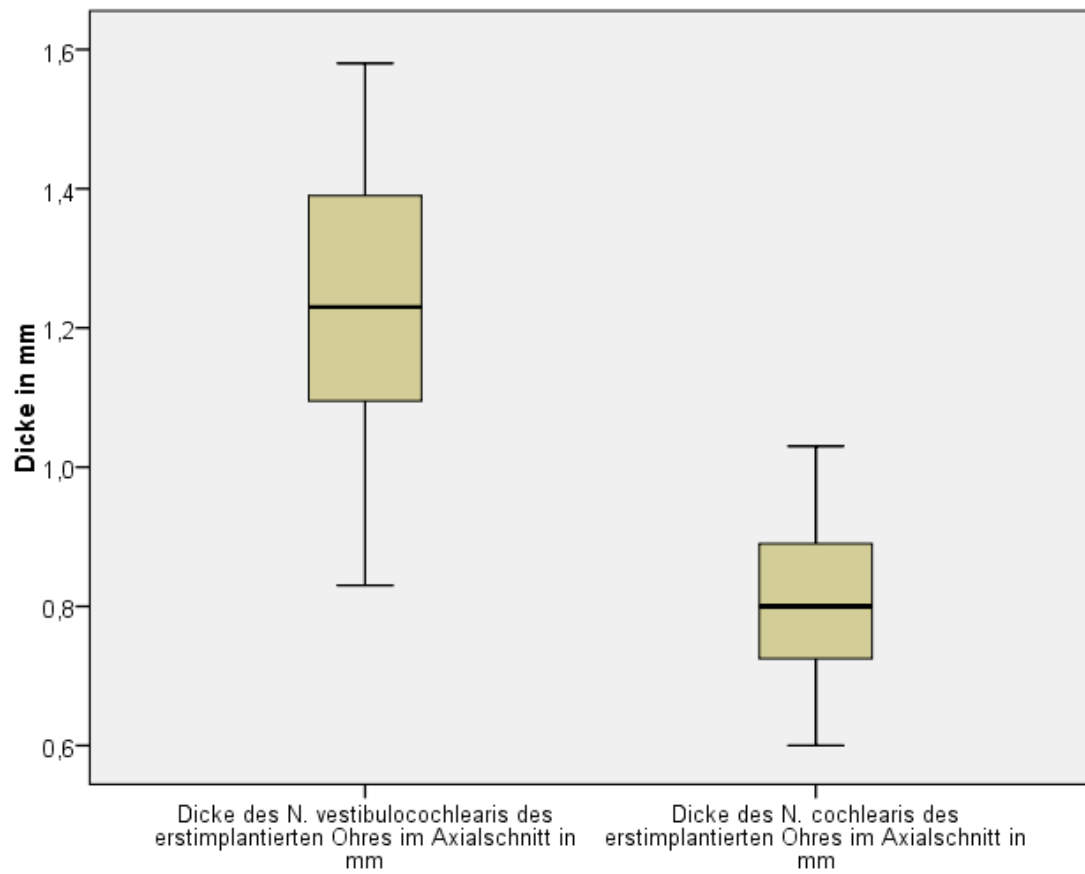
Die mittlere Dicke des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres d<sub>NC</sub> lag bei 0,80 mm (SD 0,11 mm). Der Median lag bei 0,80 mm. Das Minimum lag bei 0,60 mm, das Maximum lag bei 1,03 mm (59, 60).

Die folgende Tabelle (Tab. 4) fasst die Parameter der Nervendicken d<sub>NVC</sub> und d<sub>NC</sub> zusammen. Die darauffolgenden Abbildungen (Abb. 5-7) stellen die Verteilung der d<sub>NVC</sub> und d<sub>NC</sub> in Boxplots und Histogrammen dar.

**Tabelle 4:** Übersicht über die Nervendicken des erstimplantierten Ohres.

	d <sub>NVC</sub>	d <sub>NC</sub>
Mittelwert (MW)	1,23 mm (±0,19 mm)	0,80 mm (±0,11 mm)
Median	1,23 mm	0,80 mm
Minimum	0,83 mm	0,60 mm
Maximum	1,58 mm	1,03 mm

## Ergebnisse



**Abbildung 5:** Boxplots: Links: Verteilung der  $d_{NVC}$ . Rechts: Verteilung der  $d_{NC}$ .

## Ergebnisse

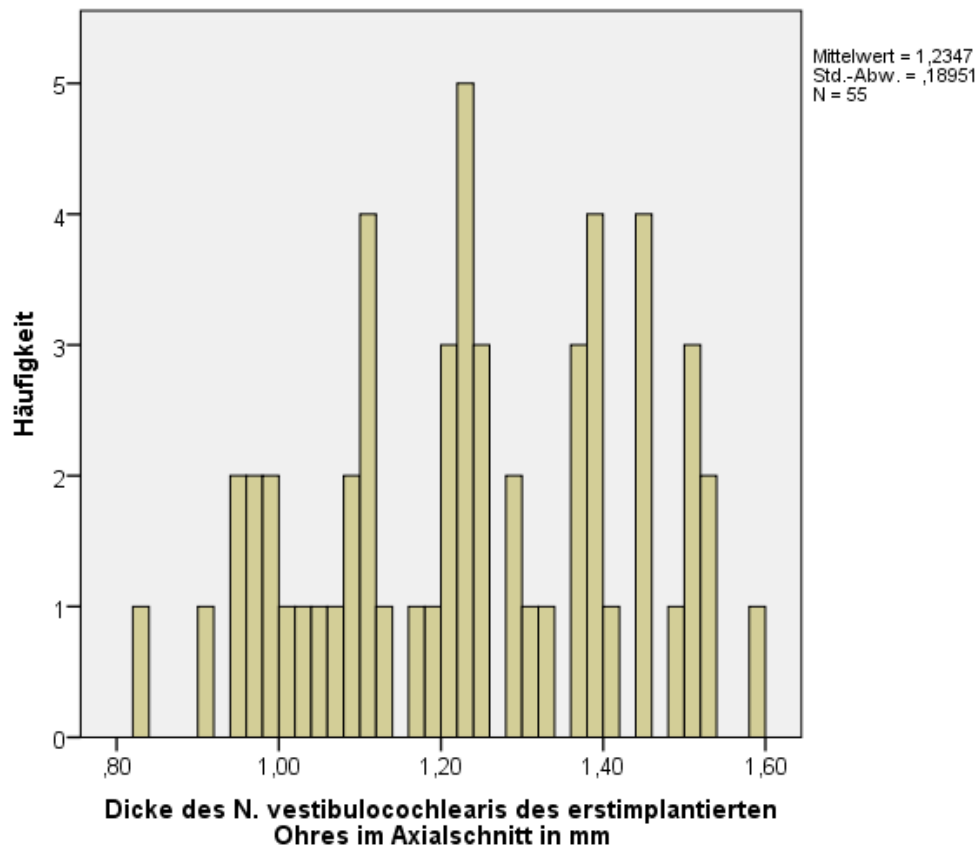


Abbildung 6: Histogramm: Verteilung der  $d_{NVC}$ .

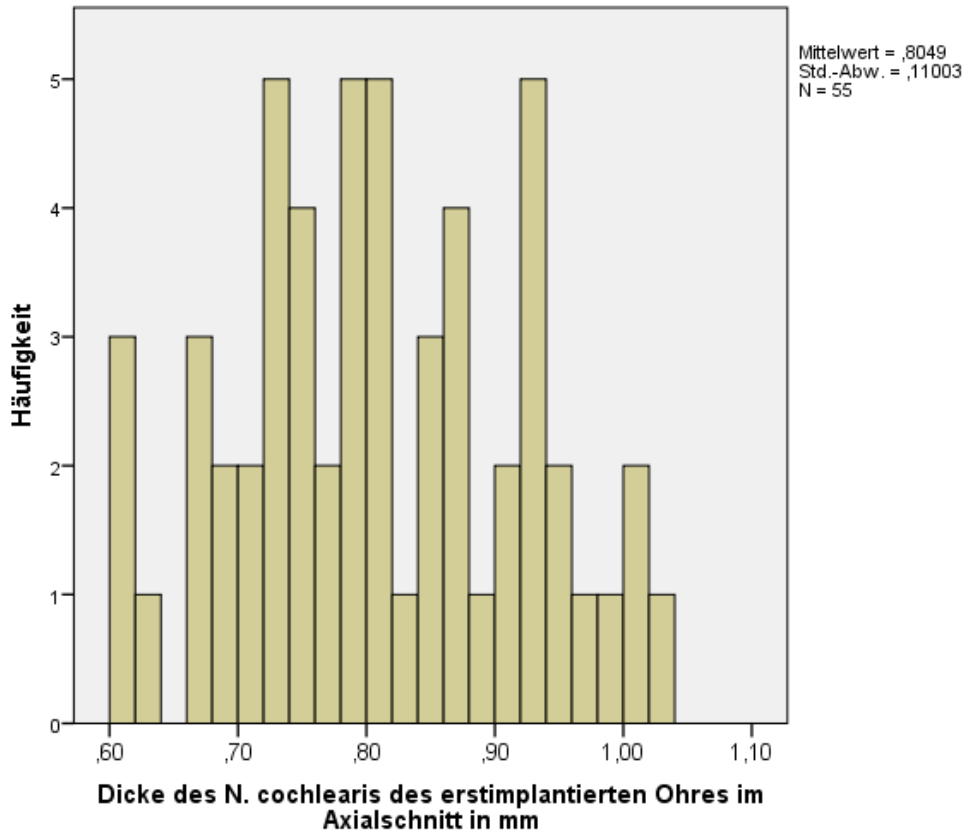


Abbildung 7: Histogramm: Verteilung der  $d_{NC}$ .



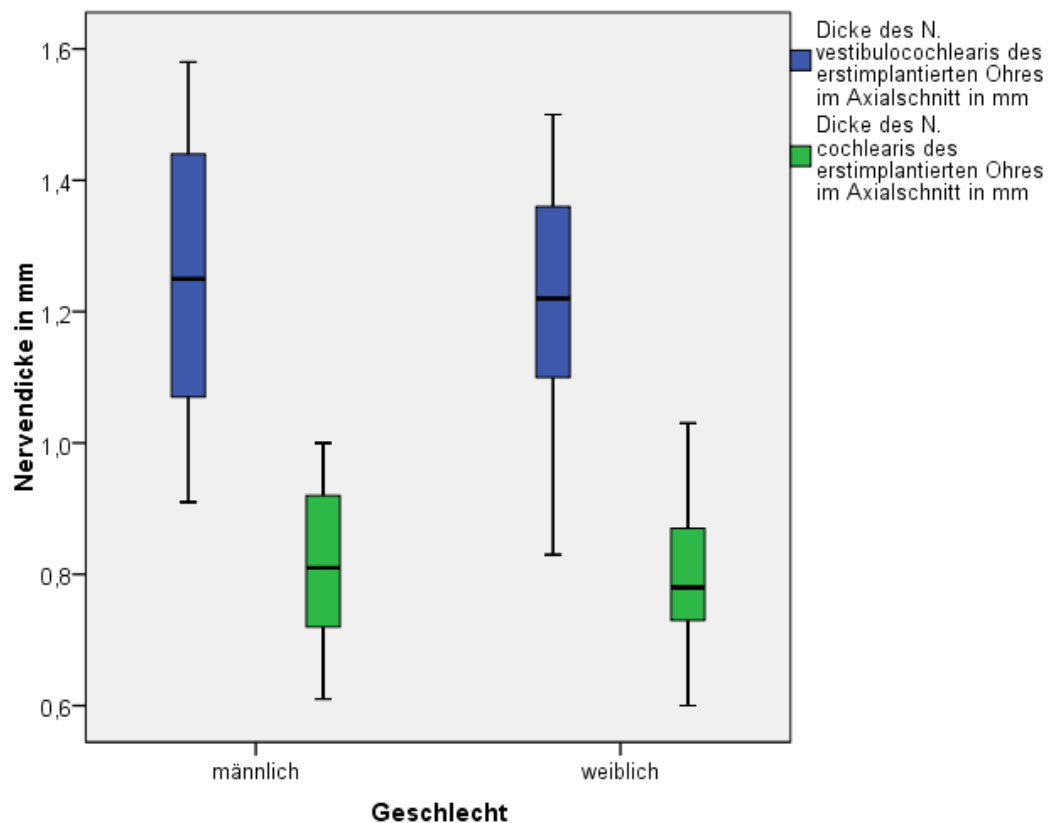
#### **4.1.9 Verteilung der Dicken des N. vestibulocochlearis bzw. des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres nach Geschlecht**

Die mittlere Dicke des N. vestibulocochlearis  $d_{NVC-M}$  bzw. des N. cochlearis  $d_{NC-M}$  des erstimplantierten Ohres bei den Jungen lag bei 1,25 mm (SD 0,20 mm) bzw. 0,82 mm (SD 0,12 mm). Der Median von  $d_{NVC-M}$  bzw.  $d_{NC-M}$  lag bei 1,25 mm bzw. bei 0,81 mm. Das Minimum von  $d_{NVC-M}$  lag bei 0,91 mm, das Maximum von  $d_{NVC-M}$  lag bei 1,58 mm. Das Minimum von  $d_{NC-M}$  lag bei 0,61 mm, das Maximum von  $d_{NC-M}$  lag bei 1,00 mm.

Die mittlere Dicke des N. vestibulocochlearis  $d_{NVC-W}$  bzw. N. cochlearis  $d_{NC-W}$  des erstimplantierten Ohres bei den Mädchen lag bei 1,21 mm (SD 0,18) bzw. bei 0,79 mm (SD 0,10). Der Median von  $d_{NVC-W}$  bzw.  $d_{NC-W}$  lag bei 1,22 mm bzw. bei 0,78 mm. Das Minimum von  $d_{NVC-W}$  lag bei 0,83 mm, das Maximum von  $d_{NVC-W}$  lag bei 1,50 mm. Das Minimum von  $d_{NC-W}$  lag bei 0,60 mm, das Maximum von  $d_{NC-W}$  lag bei 1,03 mm.

In der folgenden Abbildung (Abb. 8) ist die Verteilung der Nervendicken dargestellt. Tabelle 9 im Anhang gibt eine Übersicht über die Nervendicken des erstimplantierten Ohres nach Geschlecht.

## Ergebnisse



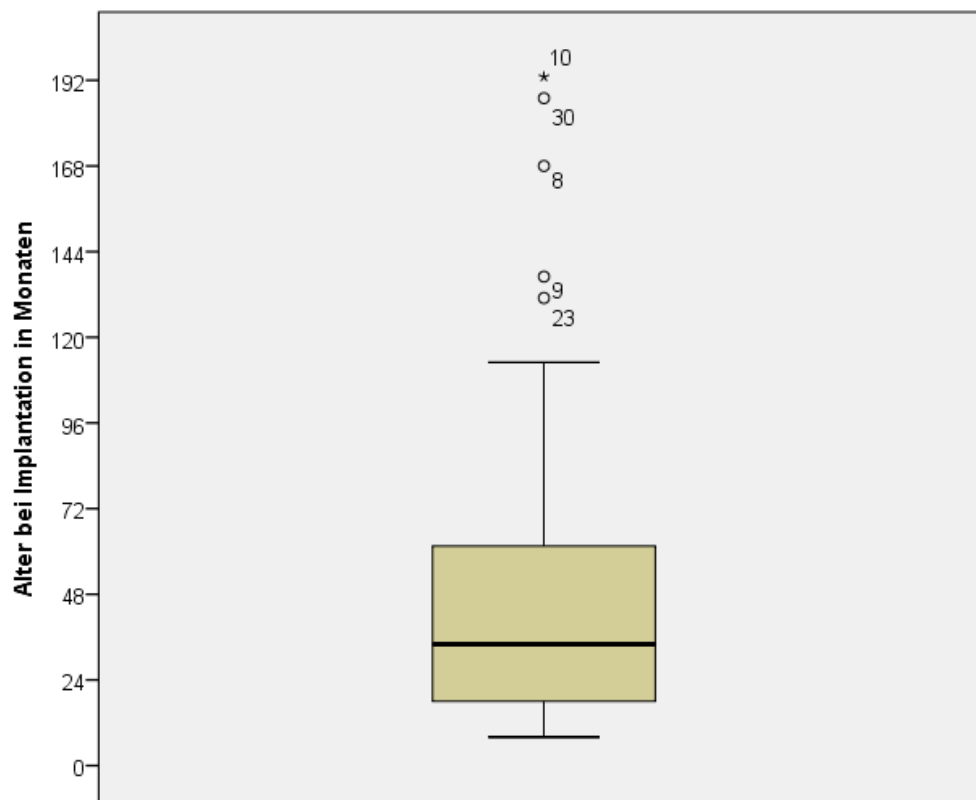
**Abbildung 8:** Boxplots: Verteilung der Nervendicken nach Geschlecht.

### 4.1.10 Verteilung des Alters bei Cochlea-Implantation

Das durchschnittliche Alter bei Implantation lag bei 4;01 Jahren (49 Monate, SD 44,7 Monate). Der Median lag bei 2;10 Jahren (34 Monaten) (59, 60). Das jüngste Kind war bei Implantation 8 Monate alt, das älteste Kind 16;01 Jahre (193 Monate) (59, 60). Die 25. Perzentile lag bei 1;06 Jahren (18 Monate), die 75. Perzentile lag bei 5;03 Jahren (63 Monate).

Im folgenden Boxplot (Abb. 9) ist die Verteilung des Alters bei Implantation in Monaten dargestellt. Tabelle 8 im Anhang gibt eine Übersicht über das Alter bei Implantation.

## Ergebnisse



**Abbildung 9:** Boxplot: Verteilung des Alters bei Implantation.

Bei den Ausreißern „10“ (Alter bei Implantation 16;01 Jahre) und „8“ (Alter bei Implantation 14;00 Jahre) handelte es sich um Kinder, die erst im Ausland gelebt hatten und dort lange Zeit mit Hörgeräten versorgt worden waren. Bei den Ausreißern „30“ (Alter bei Implantation 15;07 Jahre), „9“ (Alter bei Implantation 11;05 Jahre) und „23“ (Alter bei Implantation 10;11 Jahre) war eine Versorgung mit Hörgeräten eine Zeit lang ausreichend gewesen, da sie unter progredientem Hörverlust litten.

### 4.1.11 Verteilung des Höralters

Bei allen Patienten wurde die Zeit in Monaten ermittelt, in der durch eine Hörhilfe, sei es ein Hörgerät oder ein CI, ein Höreindruck im erstimplantierten Ohr erzeugt werden konnte. Es handelt sich dabei um die Spanne zwischen dem Zeitpunkt der Hörgerätversorgung oder der CI-Versorgung und der 2. Einstellphase.

Das durchschnittliche Höralter lag bei 2;06 Jahren (30 Monate, SD 40,3 Monate). Der Median lag bei 1;02 Jahren (14 Monate). Das Minimum des Höralters lag bei 2

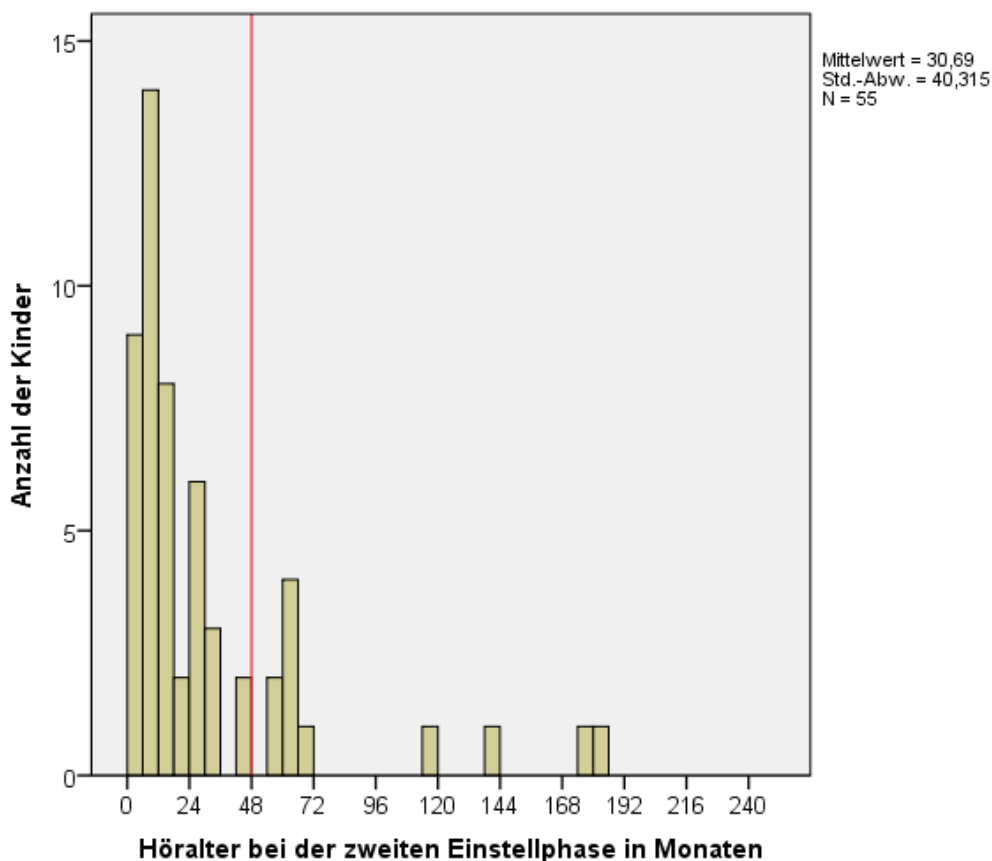
## Ergebnisse

Monaten, das Maximum bei 15;01 Jahren (181 Monate). Die 25. Perzentile lag bei 7 Monaten, die 75. Perzentile lag bei 2;09 Jahren (33 Monate).

Bei 80% der Kinder (44 Kinder) betrug das Höralter in der 2. Einstellphase <4 Jahre.

Bei 20% der Kinder (11 Kinder) betrug das Höralter in der 2. Einstellphase  $\geq 4$  Jahre.

Im folgenden Histogramm ist die Verteilung des Höralters in der 2. Einstellphase dargestellt (Abb. 10). Tabelle 8 im Anhang gibt eine Übersicht über das Höralter.



**Abbildung 10:** Histogramm: Verteilung des Höralters bei der 2. Einstellphase. Die rote Markierung trennt das Kollektiv in die Kinder mit einem Höralter von <4 Jahren und  $\geq 4$  Jahren.

Bei den Ausreißern mit dem Höralter 14;09 Jahre (177 Monate) und 11;09 Jahre (141 Monate) handelte es sich um Kinder, die erst im Ausland gelebt hatten und dort lange Zeit mit Hörgeräten versorgt worden waren. Bei den Ausreißern mit dem Höralter 15;01 Jahre (181 Monate) und 9;10 Jahre (118 Monate) war eine Versorgung mit Hörgeräten eine Zeit lang ausreichend gewesen, da sie unter progredientem Hörverlust litten.

#### 4.1.12 Verteilung der Cochlea-Implantate nach Herstellern

24 Kinder (44%) erhielten das Implantat „Med El Concerto“, 23 Kinder (42%) das Implantat „Med El Synchrony“, 2 Kinder (4%) das Implantat „Nucleus Cochlear CI 512“, 3 Kinder (5%) das Implantat „Nucleus Cochlear CI 422“, 2 Kinder (4%) das Implantat „Nucleus Cochlear CI 522“ und ein Kind (2%) das Implantat „Advanced Bionics HR 90K Advantage HiFocus“.

Das folgende Kreisdiagramm stellt die Verteilung der CIs nach Hersteller dar (Abb. 11).

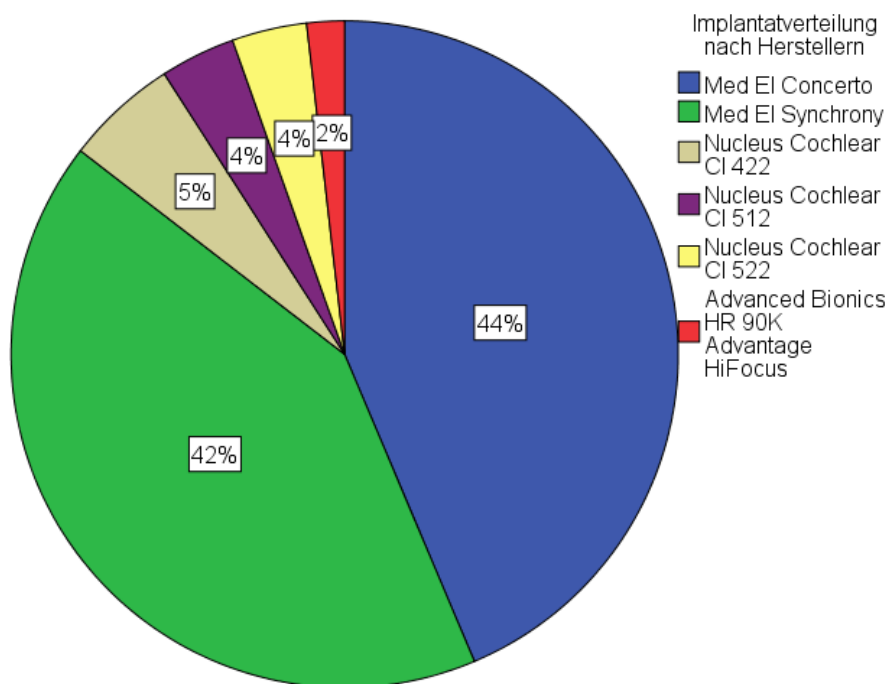


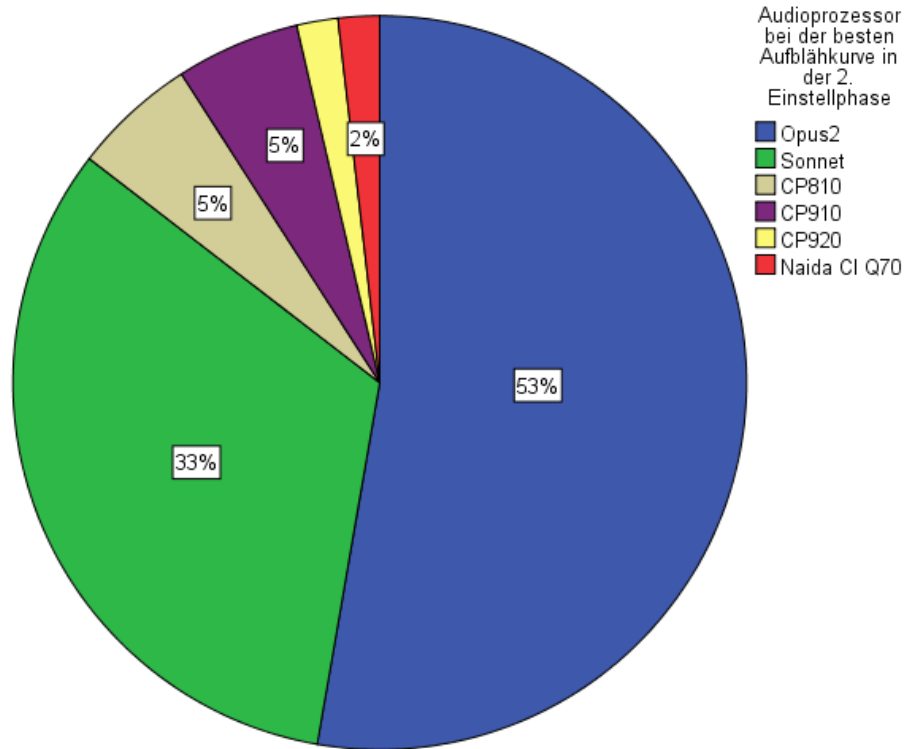
Abbildung 11: Kreisdiagramm: Verteilung der Implantate nach Herstellern.

#### 4.1.13 Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase

29 Kinder (53%) trugen den Audioprozessor „Opus 2“ und 18 Kinder (33%) den AP „Sonnet“ jeweils der Firma Med El, 3 Kinder (5%) den AP „CP810“ und 3 Kinder (5%) den „CP910“ sowie 1 Kind (2%) den „CP920“ jeweils der Firma Cochlear sowie 1 Kind (4%) den „Naida CI Q70“ der Firma Advanced Bionics.

Das folgende Kreisdiagramm (Abb. 12) und die folgende Tabelle (Tab. 5) stellen die Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase dar.

## Ergebnisse



**Abbildung 12:** Kreisdiagramm: Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase.

**Tabelle 5:** Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase.

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Opus2	29	52,7	52,7	52,7
Sonnet	18	32,7	32,7	85,5
CP810	3	5,5	5,5	90,9
CP910	3	5,5	5,5	96,4
CP920	1	1,8	1,8	98,2
Naida CI Q70	1	1,8	1,8	100,0
Gesamt	55	100,0	100,0	

## Ergebnisse

### 4.1.14 Verteilung der Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase

Der Durchschnitt der  $MW_{ABK}$  lag bei 46,0 dB (SD 13,7 dB). Der Median lag bei 42,0 dB. Der besterreichte Wert lag bei 26,0 dB, der schlechteste Wert lag bei 85,0 dB (59, 60). Die 25. Perzentile lag bei 35,0 dB, die 75. Perzentile lag bei 55,0 dB.

Im Folgenden sind die  $MW_{ABK}$  in dB dargestellt (Tab. 6 und Abb. 13). Tabelle 10 im Anhang gibt eine Übersicht über die Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase.

**Tabelle 6:** Verteilung der  $MW_{ABK}$ .

N	Gültig	55
	Fehlend	0
Mittelwert		46,04
Standardfehler des Mittelwertes		1,842
Median		42,00
Standardabweichung		13,658
Varianz		186,554
Schiefe		,813
Standardfehler der Schiefe		,322
Minimum		26
Maximum		85
Perzentile	25	35,00
	50	42,00
	75	55,00

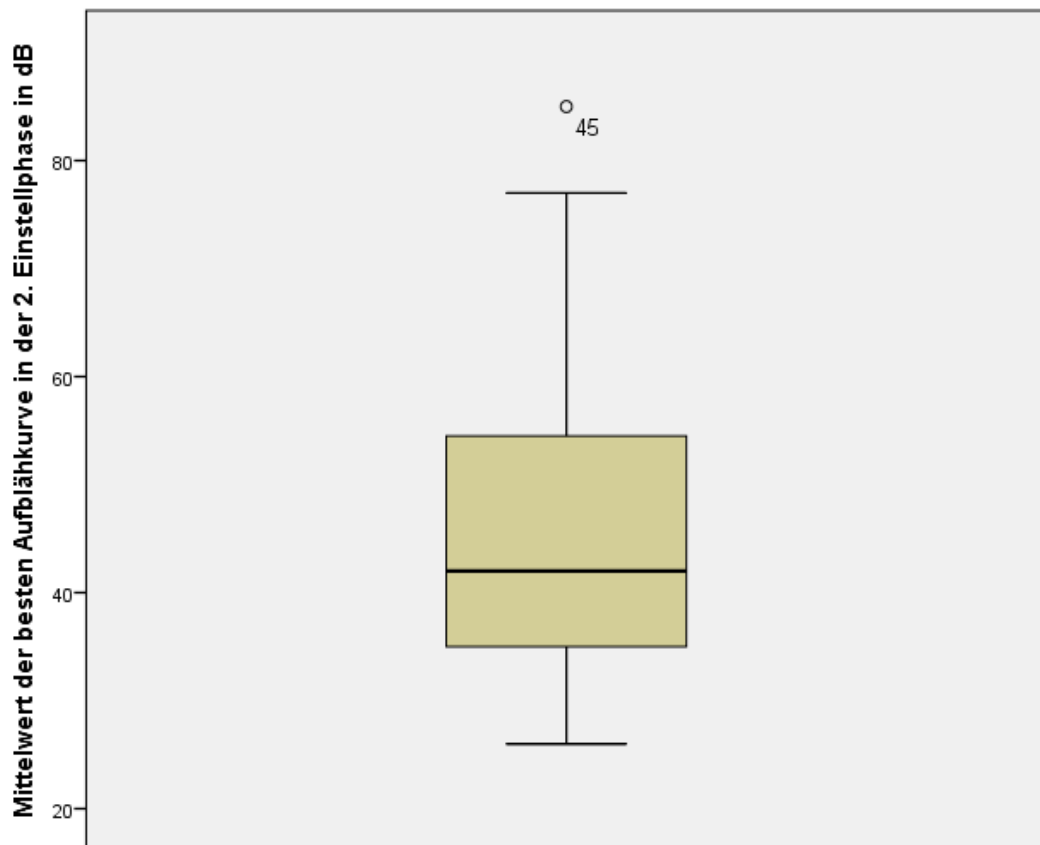


Abbildung 13: Boxplot: Verteilung der  $MW_{ABK}$ .

Bei Ausreißer „45“ handelt es sich um ein Kind, das trotz einer frühen Versorgung mit Hörgeräten und CI ein unzureichendes Hörbewusstsein zeigte. In Abschnitt 5.2 „Diskussion der Ergebnisse“ wird näher auf diesen Ausreißer eingegangen.

#### 4.1.15 Verteilung der Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase nach Geschlecht

Der  $MW_{ABK-M}$  bei den Jungen lag bei 48,3 dB (SD 15,0 dB). Der Median lag bei 46,5 dB. Das Minimum lag bei 28,0 dB, das Maximum lag bei 85,0 dB.

Der  $MW_{ABK-W}$  bei den Mädchen lag bei 43,3 dB (SD 11,5 dB). Der Median lag bei 40,0 dB. Das Minimum lag bei 26,0 dB, das Maximum lag bei 62,0 dB.

Tabelle 10 im Anhang gibt eine Übersicht über die Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase nach Geschlecht.



Ergebnisse

#### **4.1.16 Auftreten von Sprachentwicklungsstörung sowie Zwei- oder Mehrspracherwerb**

Bei 39 von 55 Patienten (71%) wurde die Diagnose Sprachentwicklungsstörung gestellt. Bei 15 von 55 Patienten (32%) lag ein Zwei- oder Mehrspracherwerb vor.

#### **4.1.17 Korrelation der Dicke des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis mit dem Alter bei Bildgebung**

Es wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Dicke des N. vestibulocochlearis  $d_{NVC}$  und dem Alter bei Bildgebung in Monaten besteht. Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman betrug  $r=0,588$ . Die Korrelation war auf dem 0,01-Niveau signifikant ( $p=0,000$ ). Dieses Ergebnis zeigt, dass ein mittelstarker positiver Zusammenhang zwischen der Dicke des N. vestibulocochlearis und dem Alter bei Bildgebung besteht.

Außerdem wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Dicke des N. cochlearis  $d_{NC}$  und dem Alter bei Bildgebung besteht. Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman betrug  $r=0,368$ . Die Korrelation war auf dem 0,01-Niveau signifikant ( $p=0,006$ ). Dieses Ergebnis zeigt, dass ein schwacher positiver Zusammenhang zwischen der Dicke des N. cochlearis und dem Alter bei Bildgebung besteht.

In den Abbildungen 30 und 31 im Anhang sind Streudiagramme mit den Korrelationen der  $d_{NVC}$  und der  $d_{NC}$  mit dem Alter bei Bildgebung dargestellt.

#### **4.1.18 Korrelation der Dicke des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis mit dem Mittelwert der Aufblähkurve in der zweiten Einstellphase**

Es wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Dicke des N. vestibulocochlearis und dem  $MW_{ABK}$  besteht (59, 60). Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman betrug  $r=-0,309$ . Die Korrelation war auf dem 0,05-Niveau signifikant ( $p=0,022$ ). Dieses Ergebnis zeigt, dass ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen der Dicke des N. vestibulocochlearis und dem  $MW_{ABK}$  besteht (59, 60).

Außerdem wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Dicke des N. cochlearis und dem  $MW_{ABK}$  besteht (59, 60). Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman betrug  $r=-0,319$ . Die Korrelation war auf dem 0,05-Niveau signifikant ( $p=0,018$ ). Dieses Ergebnis zeigt, dass ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen der Dicke des N. cochlearis und dem  $MW_{ABK}$  besteht (59, 60).

Ergebnisse

In den Abbildungen 32 und 33 im Anhang sind Streudiagramme mit den Korrelationen der  $d_{NVC}$  und der  $d_{NC}$  mit dem  $MW_{ABK}$  dargestellt.

#### **4.1.19 Korrelation des Alters bei Implantation und des Höralters mit dem Mittelwert der Aufblähkurve in der zweiten Einstellphase**

Es wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dem Alter bei Implantation und dem Höralter und dem  $MW_{ABK}$  besteht.

Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman zwischen dem Alter bei Implantation und dem  $MW_{ABK}$  betrug  $r=-0,403$ . Die Korrelation war auf dem 0,01-Niveau signifikant ( $p=0,002$ ). Dieses Ergebnis zeigt, dass ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen den beiden Variablen besteht (59).

Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman zwischen dem Höralter und dem  $MW_{ABK}$  betrug  $r=-0,401$ . Die Korrelation war auf dem 0,01-Niveau signifikant ( $p=0,002$ ). Dieses Ergebnis zeigt, dass ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen den beiden Variablen besteht.

In den Abbildungen 34 und 35 im Anhang sind Streudiagramme mit den Korrelationen zwischen dem Alter bei Implantation und dem Höralter mit dem  $MW_{ABK}$  dargestellt.

## **4.2 Deskriptive Daten der Gruppen**

### **4.2.1 Geschlechterverteilung**

Die Gruppe der GP bestand aus 27 Patienten, wovon 15 (56%) weiblich ( $GP_W$ ) und 12 (44%) männlich waren ( $GP_M$ ).

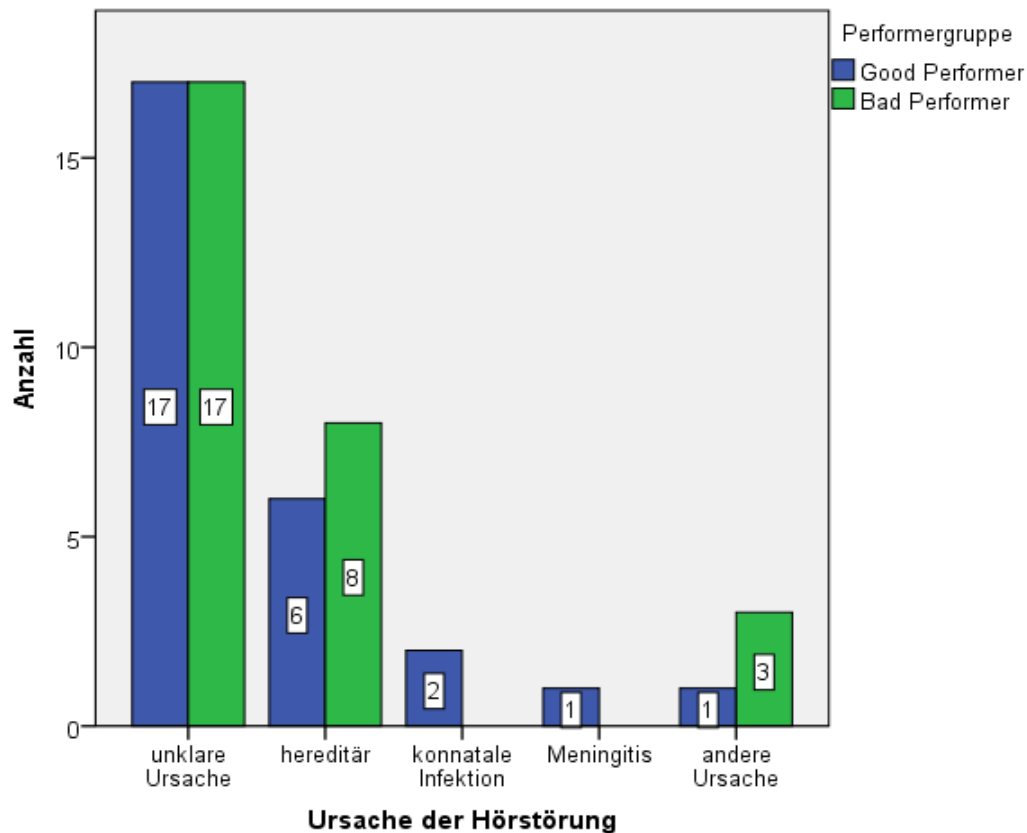
Die Gruppe der BP bestand aus 28 Patienten, wovon 10 (36%) weiblich ( $BP_W$ ) und 18 (64%) männlich ( $BP_M$ ) waren.

### **4.2.2 Ursache der Schwerhörigkeit**

Sowohl in der Gruppe der Good Performer als auch der Bad Performer waren jeweils bei 17 Kindern (63%) die Ursache der Schwerhörigkeit zum Zeitpunkt der 2. Einstellphase unklar. 6 Kinder (22%) der GP bzw. 8 Kinder (29%) der BP litten an einer hereditären Hörstörung. Bei 2 Kindern (7%) der GP war eine konnatale Infektion die Ursache der Schwerhörigkeit. Bei 1 Kind (4%) war die Hörstörung durch eine Meningitis bedingt und bei 1 weiteren Kind der GP (4%) bzw. 3 Patienten (11%) der BP lag eine andere Ursache für die Hörstörung vor.

Ergebnisse

Das folgende Balkendiagramm (Abb. 14) zeigt die Verteilung der Ursachen für die Hörstörungen nach Gruppen aufgeteilt.



**Abbildung 14:** Balkendiagramm: Verteilung der Ursachen der Schwerhörigkeit in den Gruppen.

#### 4.2.3 Verteilung von uni- oder bilateralen Hörstörungen sowie Verteilung der Hörgeräteversorgung

In der Gruppe der Good Performer litten 26 Kinder (96%) und bei den Bad Performer 27 Kinder (96%) an einer bilateralen Hörstörung. Jeweils 1 Kind jeder Gruppe (4%) war nur unilateral von der Hörstörung betroffen.

Bei den Good Performer waren 25 Kinder (93%) und bei den Bad Performer alle 28 Kinder (100%) vor Cochlea-Implantation mit einem Hörgerät versorgt worden.

#### 4.2.4 Verteilung des Alters bei Bildgebung

In der Gruppe der Good Performer lag das mittlere Alter bei Bildgebung bei 5;00 Jahren (60 Monate, SD 48,3 Monate). Der Median lag bei 4;06 Jahren (54 Monate). Das Minimum lag bei 6 Monaten, das Maximum lag bei 15;11 Jahren (191 Monate).

Ergebnisse

Die 25. Perzentile lag bei 2;09 Jahren (33 Monate), die 75. Perzentile lag bei 6;06 Jahren (78 Monate).

In der Gruppe der Bad Performer lag das mittlere Alter bei Bildgebung bei 2;08 Jahren (32 Monate, SD 35,8 Monate). Der Median lag bei 1;06 Jahren (18 Monate). Das Minimum lag bei 5 Monaten, das Maximum lag bei 15;05 Jahren (185 Monate). Die 25. Perzentile lag bei 11 Monaten, die 75. Perzentile lag bei 3;09 Jahren (45 Monate).

Die Tabelle 11 im Anhang gibt eine Übersicht über das Alter bei Bildgebung aufgeteilt nach Performergruppen.

#### **4.2.5 Verteilung der Feldstärke der Magnetresonanztomographen**

In der Gruppe der Good Performer wurden 25 (93%) MRT-Aufnahmen mit 1,5 Tesla-Magnetresonanztomographen angefertigt. Bei 2 (7%) Kindern hatte der Magnetresonanztomograph eine Feldstärke von 3 Tesla (59, 60).

In der Gruppe der Bad Performer wurden alle 28 Aufnahmen mit 1,5-Tesla-Magnetresonanztomographen angefertigt (59, 60).

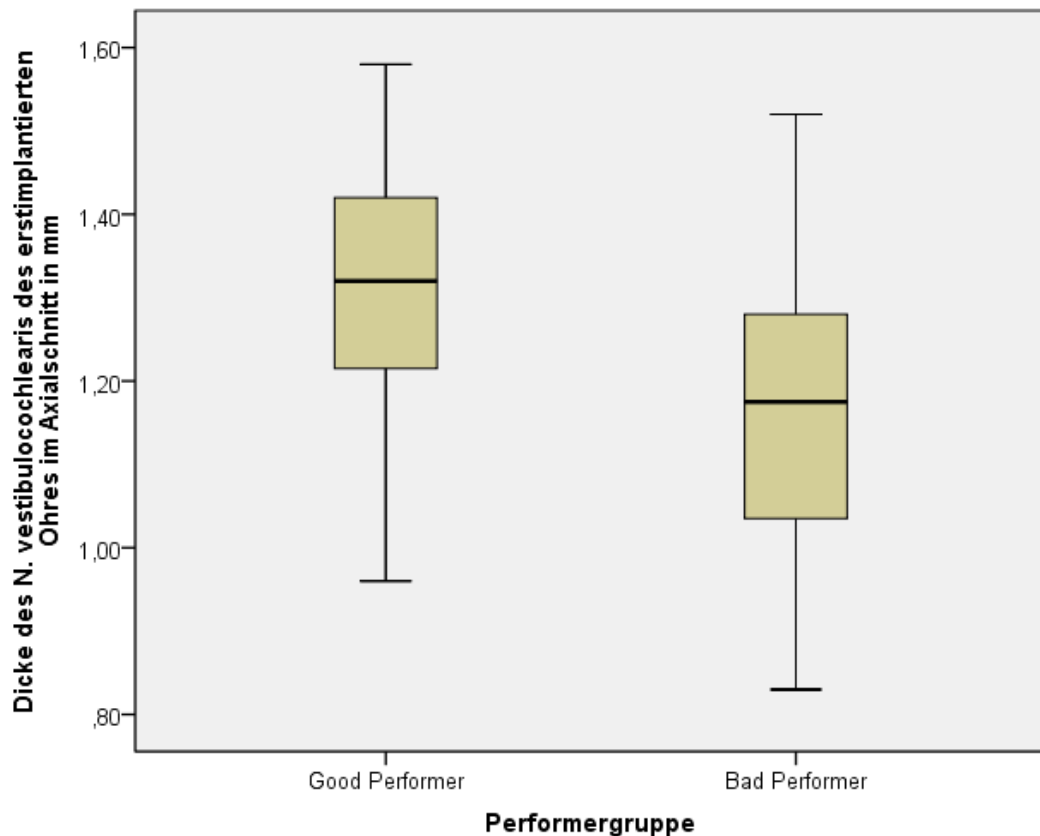
#### **4.2.6 Verteilung der Dicken des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres**

In der Gruppe der Good Performer lag die mittlere Dicke des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres  $d_{NVC-GP}$  bei 1,29 mm (SD 0,17 mm). Der Median lag bei 1,32 mm. Das Minimum lag bei 0,96 mm, das Maximum lag bei 1,58 mm (59, 60).

In der Gruppe der Bad Performer lag die mittlere Dicke des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres  $d_{NVC-BP}$  bei 1,18 mm (SD 0,19 mm). Der Median lag bei 1,18 mm. Das Minimum lag bei 0,83 mm, das Maximum lag bei 1,52 mm (59, 60).

In der folgenden Abbildung (Abb. 15) ist die Verteilung der  $d_{NVC-GP}$  und  $d_{NVC-BP}$  in Form von Boxplots dargestellt.

## Ergebnisse



**Abbildung 15:** Boxplots: Verteilung der  $d_{NVC-GP}$  und  $d_{NVC-BP}$ .

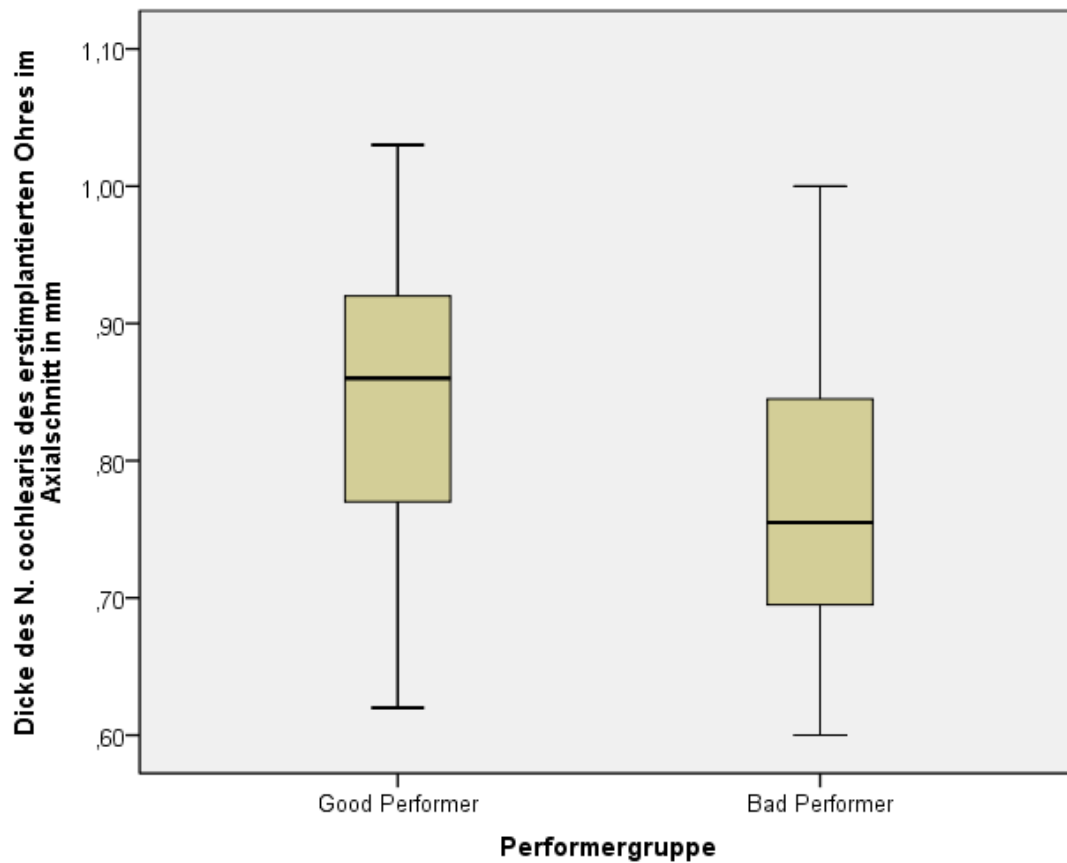
### 4.2.7 Verteilung der Dicken des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres

In der Gruppe der Good Performer lag die mittlere Dicke des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres  $d_{NC-GP}$  bei 0,84 mm (SD 0,11 mm). Der Median lag bei 0,86 mm. Das Minimum lag bei 0,62 mm, das Maximum lag bei 1,03 mm (59, 60).

In der Gruppe der Bad Performer lag die mittlere Dicke des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres  $d_{NC-BP}$  bei 0,77 mm (SD 0,10 mm). Der Median lag bei 0,76 mm. Das Minimum lag bei 0,60 mm, das Maximum lag bei 1,00 mm (59, 60).

In der folgenden Abbildung (Abb. 16) ist die Verteilung der  $d_{NC-GP}$  und  $d_{NC-GP}$  in Form von Boxplots nach Gruppen aufgeteilt dargestellt. Die darauffolgende Tabelle (Tab. 7) gibt eine Übersicht über die Nervendicken der Gruppen. Die darauffolgende Abbildung (Abb. 17) stellt in Form von Boxplots die Verteilung der Nervendicken nach Gruppen aufgeteilt dar.

## Ergebnisse

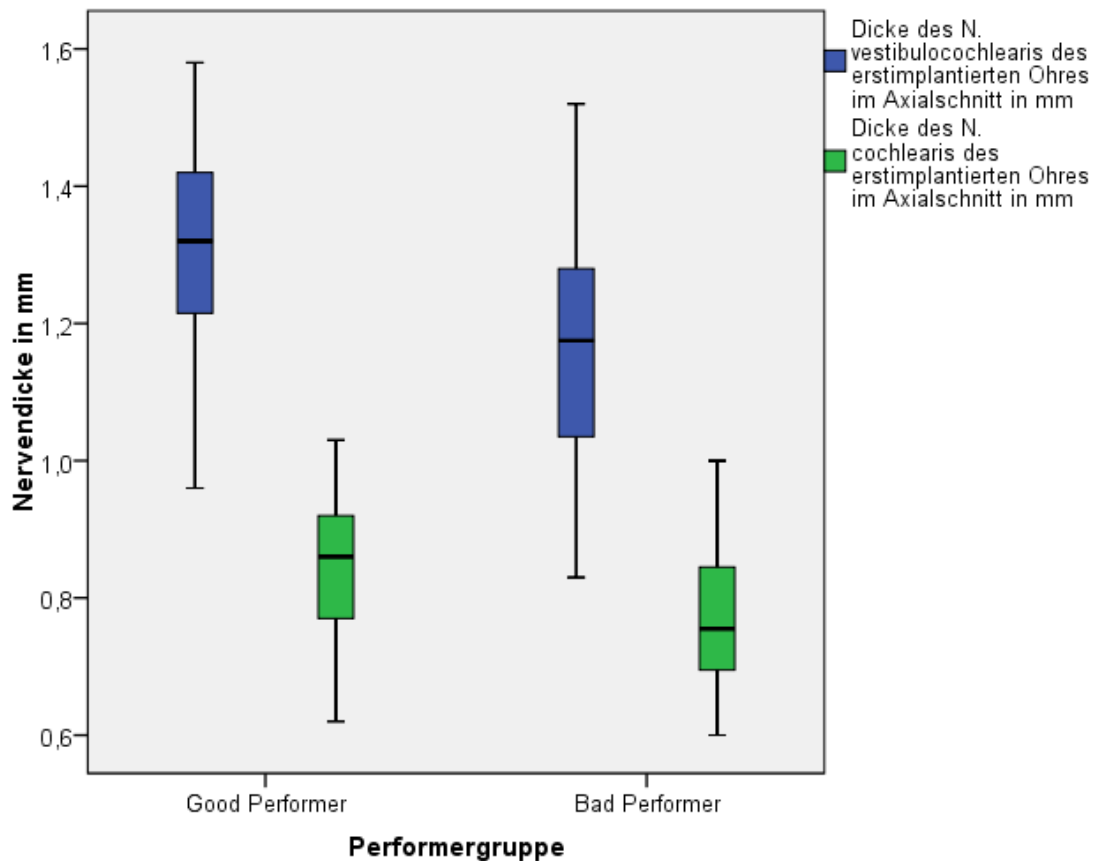


**Abbildung 16:** Boxplots: Verteilung der  $d_{NC-GP}$  und der  $d_{NC-BP}$ .

**Tabelle 7:** Übersicht über die Nervendicken in den Gruppen.

	Good Performer		Bad Performer	
	$d_{NVC-GP}$	$d_{NC-GP}$	$d_{NVC-BP}$	$d_{NC-BP}$
Mittelwert	1,29 mm (±0,17 mm)	0,84 mm (±0,11 mm)	1,18 mm (±0,19 mm)	0,77 mm (±0,10 mm)
Median	1,32 mm	0,86 mm	1,18 mm	0,76 mm
Minimum	0,96 mm	0,62 mm	0,83 mm	0,60 mm
Maximum	1,58 mm	1,03 mm	1,52 mm	1,00 mm

## Ergebnisse



**Abbildung 17:** Boxplots: Verteilung der Nervendicken des erstimplantierten Ohres in den Gruppen (59, 60).

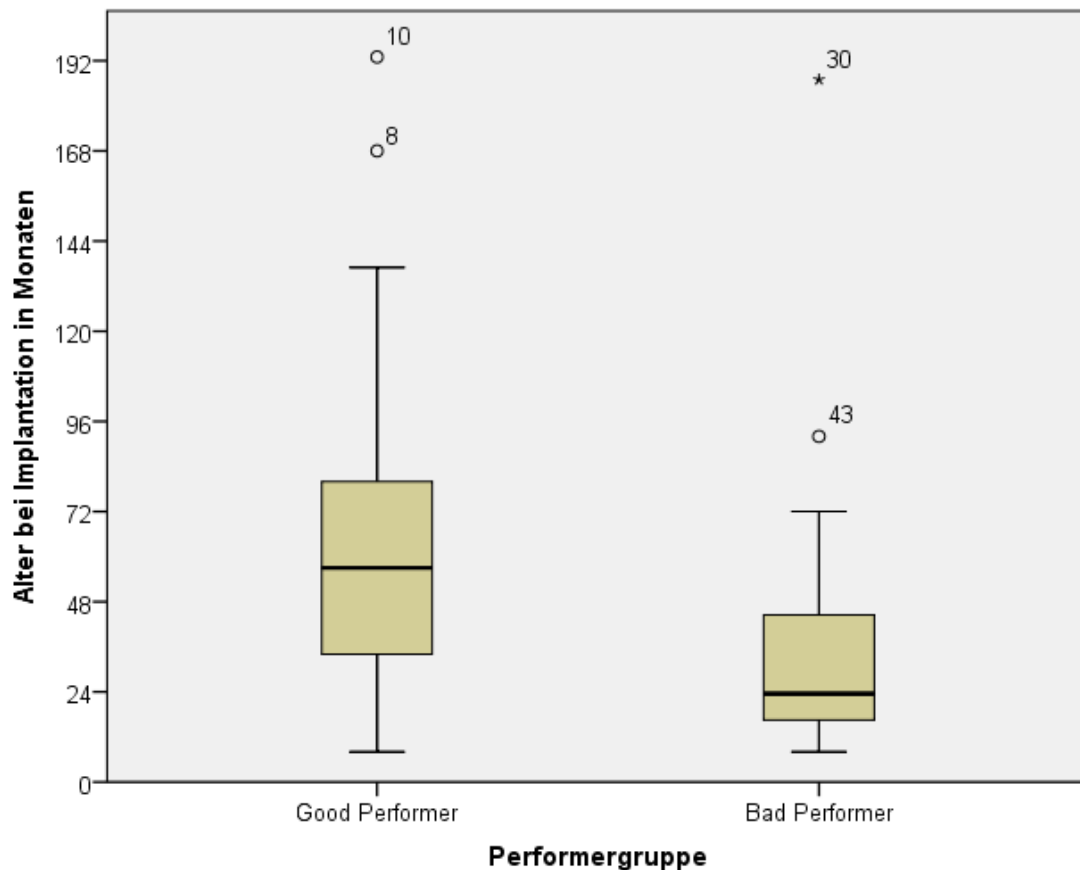
### 4.2.8 Verteilung des Alters bei Cochlea-Implantation

In der Gruppe der Good Performer lag das mittlere Alter bei Implantation bei 5;04 Jahren (64 Monate, SD 48,9 Monate). Der Median lag bei 4;09 Jahren (57 Monate) (59, 60). Das Minimum lag bei 8 Monaten, das Maximum lag bei 16;01 Jahren (193 Monate). Die 25. Perzentile lag bei 2;10 Jahren (34 Monate), die 75. Perzentile lag bei 7;06 Jahren (90 Monate) (59, 60).

In der Gruppe der Bad Performer lag das mittlere Alter bei Implantation bei 2;11 Jahren (35 Monate, SD 35,8 Monate). Der Median lag bei 1;11 Jahren (23 Monate) (59, 60). Das Minimum lag bei 8 Monaten, das Maximum lag bei 15;07 Jahren (187 Monate). Die 25. Perzentile lag bei 1;04 Jahren (16 Monate), die 75. Perzentile lag bei 3;10 Jahren (46 Monate) (59, 60).

In den folgenden Boxplots (Abb. 18) sind die Verteilungen des Alters bei Implantation in Monaten dargestellt.

## Ergebnisse



**Abbildung 18:** Boxplots: Verteilung des Alters bei Implantation in den Gruppen.

Bei den Good Performern handelte es sich bei den Ausreißern „10“ (Alter bei Implantation 16;01 Jahre (193 Monate)) und „8“ (Alter bei Implantation 14;00 Jahre (168 Monate)) um Kinder, die zunächst im Ausland gelebt hatten und dort mit Hörgeräten versorgt waren.

Bei den Bad Performern war bei Ausreißer „30“ (Alter bei Implantation 15;07 Jahre (187 Monate)) und „43“ (Alter bei Implantation 7;08 Jahre (92 Monate)) eine Hörgeräteversorgung lange Zeit ausreichend gewesen.

Tabelle 11 im Anhang gibt eine Übersicht über das Alter bei Implantation aufgeteilt nach Performergruppen.

### 4.2.9 Verteilung des Höralters

In der Gruppe der Good Performer lag das mittlere Höralter zum Zeitpunkt der 2. Einstellphase bei 3;06 Jahren (42 Monate, SD 43,8 Monate). Der Median lag bei 2;05 Jahren (29 Monate). Das Minimum lag bei 2 Monaten, das Maximum bei 14;09

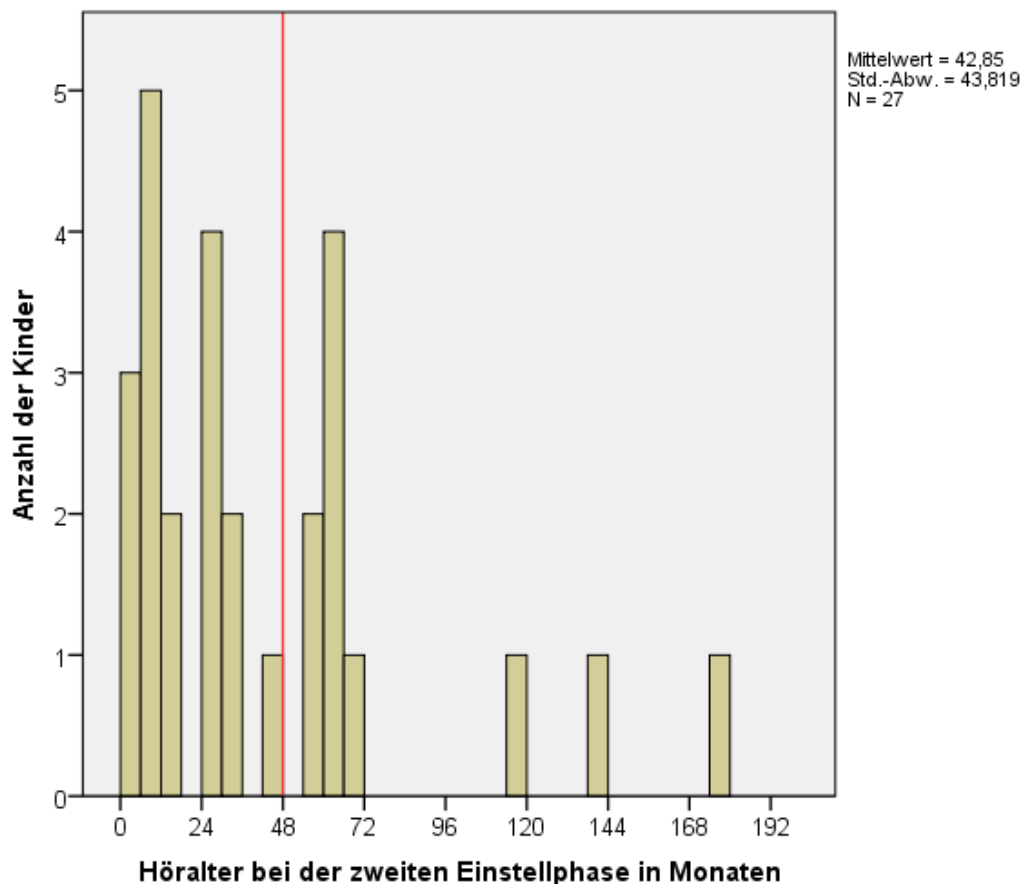


Ergebnisse

Jahren (177 Monate). Die 25. Perzentile lag bei 9 Monaten, die 75. Perzentile bei 5;02 Jahren (62 Monate).

Bei 63% (17 Kinder) lag das Höralter in der 2. Einstellphase bei <4 Jahren. Bei 37% (10 Kinder) lag das Höralter bei  $\geq 4$  Jahren.

Im folgenden Histogramm (Abb. 19) ist die Verteilung des Höralters in Jahren in der Gruppe der Good Performer dargestellt.



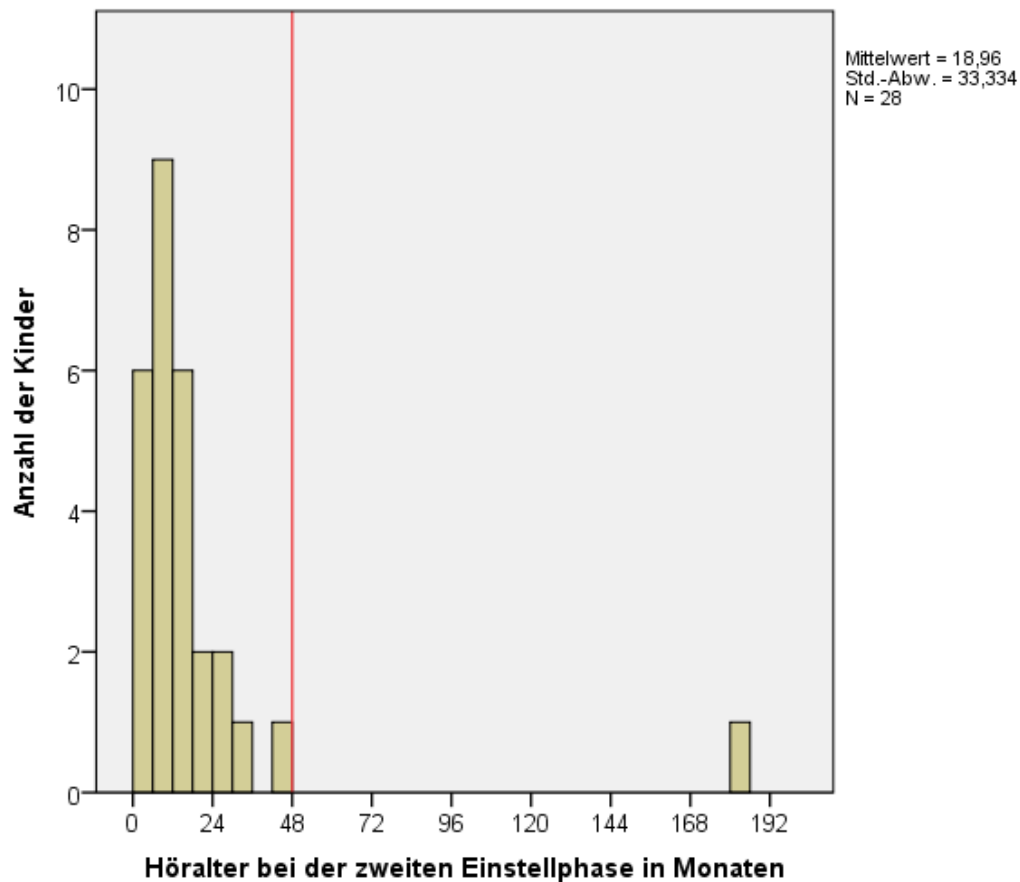
**Abbildung 19:** Histogramm: Verteilung des Höralters bei der 2. Einstellphase bei den Good Performern. Die rote Markierung trennt das Kollektiv in Kinder mit einem Höralter <4 Jahren und Kinder mit einem Höralter  $\geq 4$  Jahren.

In der Gruppe der Bad Performer lag das mittlere Höralter bei 1;06 Jahren (18 Monate, SD 33,3 Monate). Der Median lag bei 10 Monaten. Das Minimum lag bei 2 Monaten, das Maximum bei 15;01 Jahren (181 Monate). Die 25. Perzentile lag bei 6 Monaten, die 75. Perzentile lag bei 1;05 Jahren (17 Monaten).

Bei 96% (27 Kinder) lag das Höralter bei der 2. Einstellphase bei <4 Jahren. Bei 4% (1 Kind) lag das Höralter bei  $\geq 4$  Jahren.

## Ergebnisse

Im folgenden Histogramm (Abb. 20) ist die Verteilung des Höralters in Jahren in der Gruppe der Bad Performer dargestellt.



**Abbildung 20:** Histogramm: Verteilung des Höralters bei der 2. Einstellphase bei den Bad Performern. Die rote Markierung trennt das Kollektiv in Kinder mit einem Höralter <4 Jahren und Kinder mit einem Höralter  $\geq 4$  Jahren.

Tabelle 11 im Anhang gibt eine Übersicht über das Höralter in den Performergruppen.

### 4.2.10 Verteilung der Cochlea-Implantate nach Herstellern

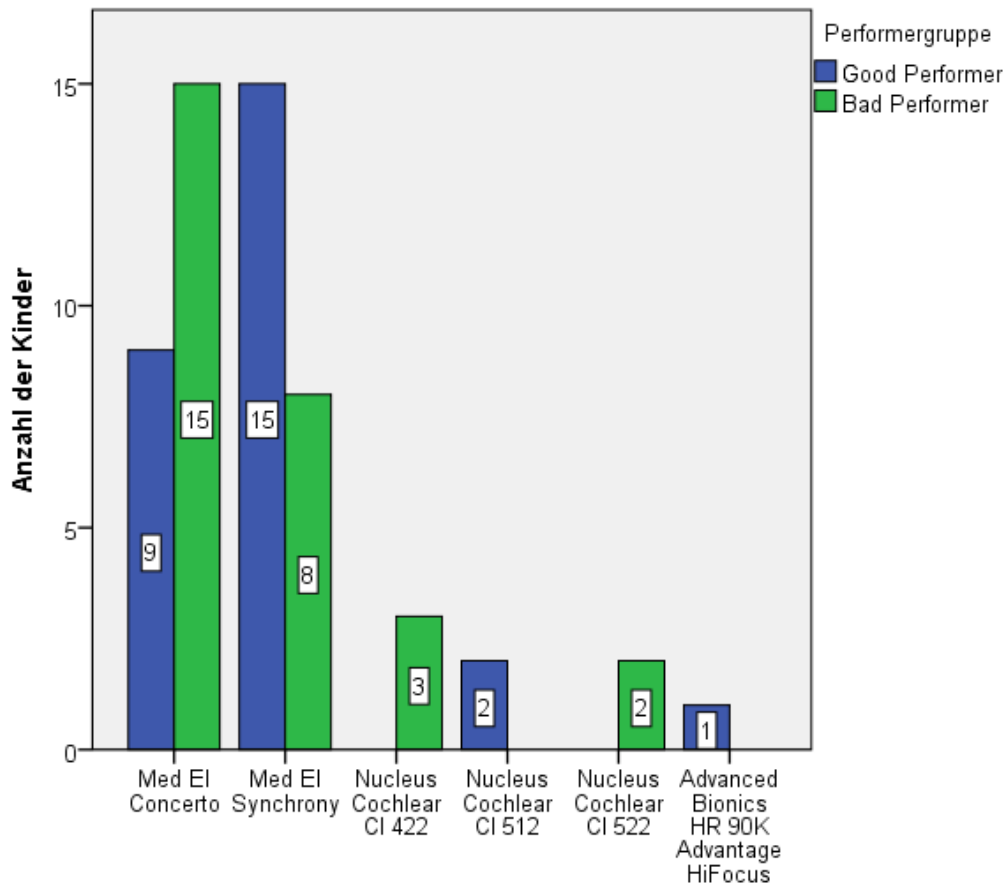
In der Gruppe der Good Performer erhielten 9 Kinder (33%) das Implantat „Med El Concerto“. Das Implantat „Med El Synchrony“ trugen 15 Kinder (56%). 2 Kinder (7%) bekamen das Implantat „Nucleus Cochlear CI 512“ und 1 Kind (4%) erhielt das Implantat „Advanced Bionics HR 90K Advantage HiFocus“ (59).

In der Gruppe der Bad Performer erhielten 15 Kinder (54%) das Implantat „Med El Concerto“. 8 Kinder (29%) bekamen das Implantat „Med El Synchrony“. Das

## Ergebnisse

Implantat „Nucleus Cochlear CI 422“ hatten 3 Kinder (11%) und „Nucleus Cochlear CI 522“ 2 Kinder (7%) (59).

Im folgenden Histogramm (Abb. 21) ist die Verteilung der Cochlea-Implantate nach Herstellern nach Gruppen aufgeteilt dargestellt.



**Abbildung 21:** Balkendiagramm: Verteilung der Implantate nach Herstellern in den Gruppen.

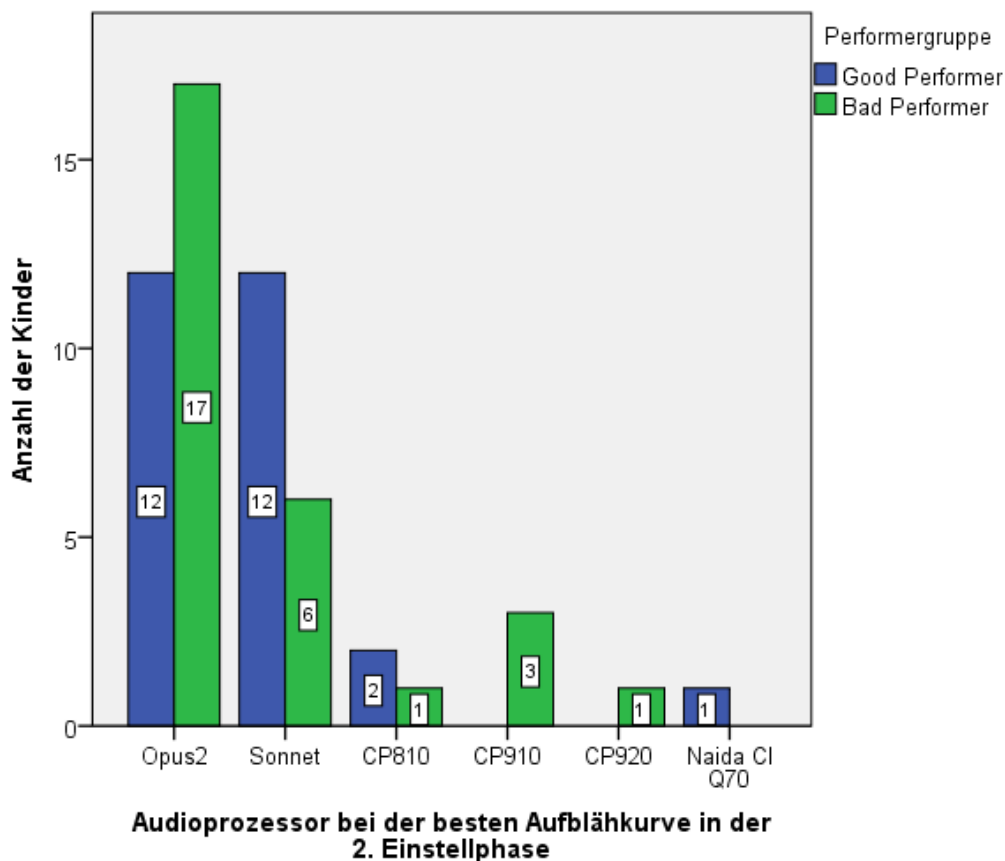
### 4.2.11 Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase

In der Gruppe der Good Performer verwendeten 12 Kinder (44%) den Audioprozessor „Opus 2“, 12 Kinder (44%) den „Sonnet“, 2 Kinder (7%) den „CP810“ und 1 Kind (4%) den „Naida CI Q70“.

In der Gruppe der Bad Performer verwendeten 17 Kinder (61%) den Audioprozessor „Opus 2“, 6 Kinder (21%) den „Sonnet“, 1 Kind (4%) den „CP810“, 3 Kinder (11%) den „CP910“ und 1 Kind (4%) den „CP920“.

Im folgenden Balkendiagramm (Abb. 22) ist die Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase nach Gruppen aufgeteilt dargestellt.

## Ergebnisse



**Abbildung 22:** Balkendiagramm: Verteilung der Audioprozessoren in der 2. Einstellphase in den Gruppen.

### 4.2.12 Verteilung der Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase

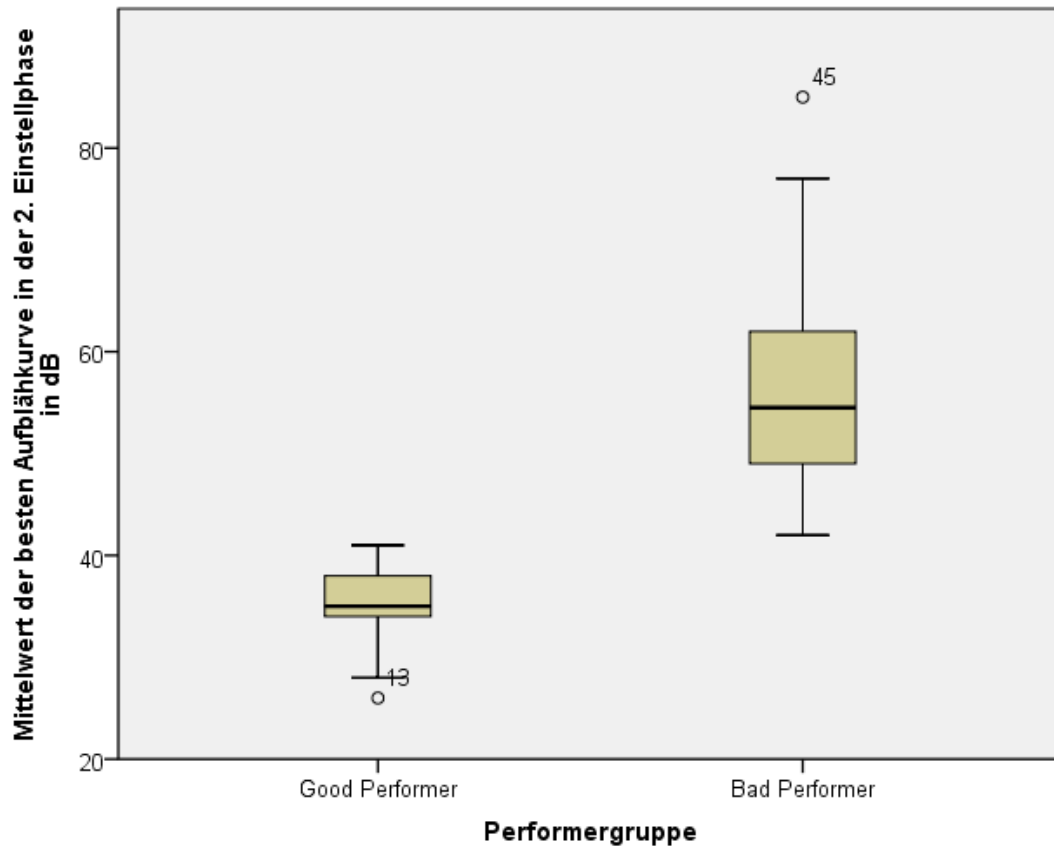
In der Gruppe der Good Performer lag der  $MW_{ABK-GP}$  bei 35,0 dB (SD 4,2 dB). Der Median lag bei 35,0 dB. Das Minimum lag bei 26,0 dB, das Maximum lag bei 41,0 dB.

In der Gruppe der Bad Performer lag der  $MW_{ABK-BP}$  bei 56,7 dB (SD 10,7 dB). Der Median lag bei 54,5 dB. Das Minimum lag bei 42,0 dB, das Maximum lag bei 85,0 dB.

Die Standardabweichung in der Gruppe der BP war höher als die der Gruppe der GP. Dies zeigt, dass die Gruppe der BP heterogenere Ergebnisse hatte als die GP.

Die Spanne der Werte ist bei der Gruppe der GP deutlich geringer, sie beträgt 15 dB, wohingegen sie bei den BP bei 43 dB liegt. Die Patienten der BP unterschieden sich somit mehr in ihrem Ergebnis in der 2. Einstellphase als die Patienten der GP.

In der folgenden Abbildung (Abb. 23) sind die Verteilungen der  $MW_{ABK-GP}$  und  $MW_{ABK-BP}$  in Form von Boxplots dargestellt.



**Abbildung 23:** Boxplots: Verteilung der  $MW_{ABK-GP}$  und  $MW_{ABK-BP}$ .

Ausreißer „13“ litt unter einem progredienten Hörverlust und war vor CI-Versorgung mit Hörgeräten versorgt gewesen. Weitere Behinderungen zur Schwerhörigkeit bestanden nicht.

Bei Ausreißer „45“ handelt es sich um ein Kind, das trotz einer frühen Versorgung mit Hörgeräten und CIs ein unzureichendes Hörbewusstsein zeigte. In Abschnitt 5.2 „Diskussion der Ergebnisse“ wird näher auf diesen Ausreißer eingegangen.

Tabelle 10 im Anhang gibt eine Übersicht über den  $MW_{ABK-GP}$  und  $MW_{ABK-BP}$ .

#### **4.2.13 Auftreten von Sprachentwicklungsstörung sowie Zwei- oder Mehrspracherwerb**

Bei den GP wurde bei 22 von 27 Kindern (81%) bzw. bei den BP bei 17 von 28 Kindern (61%) die Diagnose Sprachentwicklungsstörung gestellt.

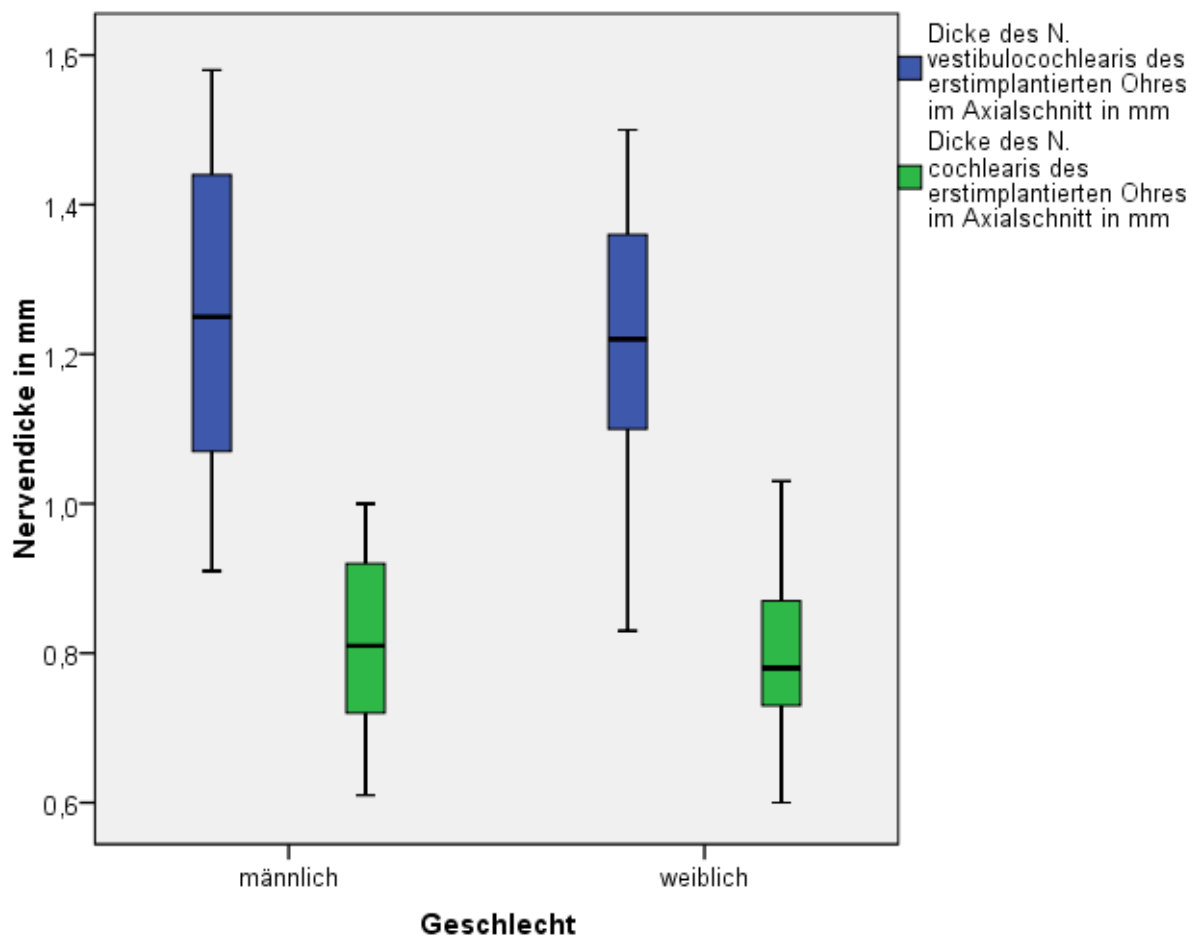
Bei den GP lag bei 8 von 27 Kindern (30%) bzw. bei den BP bei 7 von 28 Kindern (25%) ein Zwei- oder Mehrspracherwerb vor.

### 4.3 Explorative Analyse

#### 4.3.1 Unterschied der Dicke des N. vestibulocochlearis bzw. Dicke des N. cochlearis zwischen den Geschlechtern

Der durchgeführte Mann-Whitney-U-Test zeigte, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen der Dicke des N. vestibulocochlearis ( $p=0,437$ ) bzw. Dicke des N. cochlearis ( $p=0,417$ ) des erstimplantierten Ohres zwischen den Mädchen und Jungen gab.

In der folgenden Abbildung (Abb. 24) ist in Form von Boxplots die Verteilung der Nervendicken des erstimplantierten Ohres aufgeteilt nach Geschlecht dargestellt. In Tabelle 12 im Anhang sind die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests dargestellt.



**Abbildung 24:** Boxplots: Verteilung der Nervendicken des erstimplantierten Ohres nach Geschlecht.

Ergebnisse

#### 4.3.2 Unterschied der Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase zwischen den Geschlechtern

Der durchgeführte Mann-Whitney-U-Test zeigte, dass es keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,275$ ) zwischen den  $MW_{ABK-M}$  und  $MW_{ABK-W}$  gab.

Die folgende Abbildung (Abb. 25) stellt in Form von Boxplots die Verteilung der  $MW_{ABK-M}$  und  $MW_{ABK-W}$  dar.

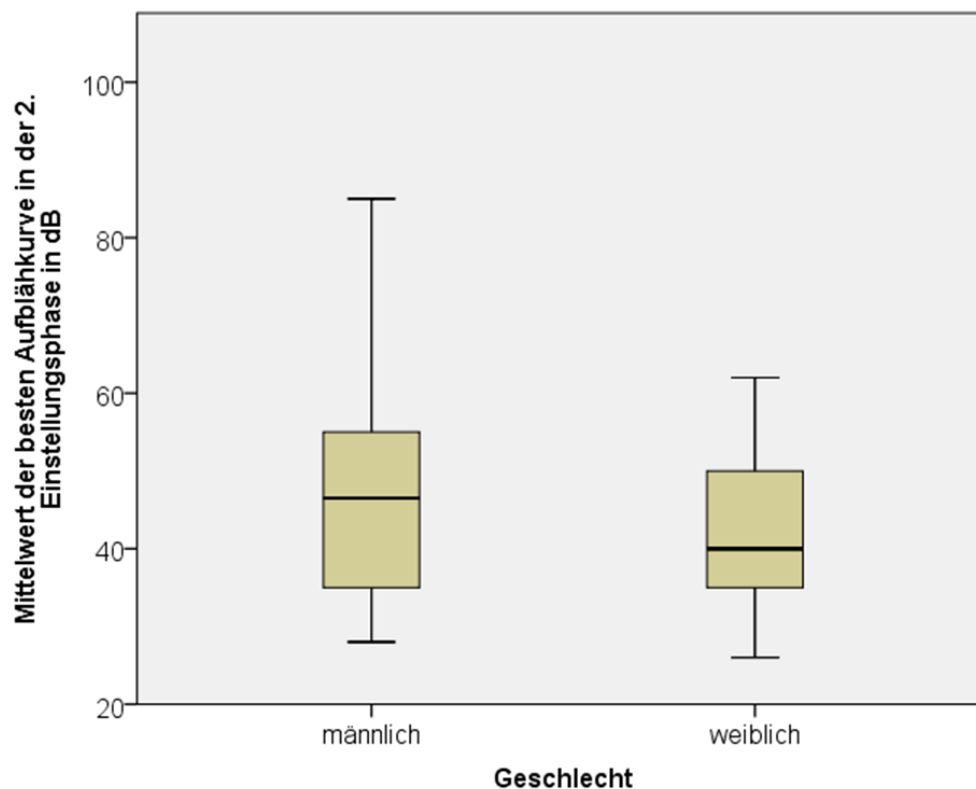


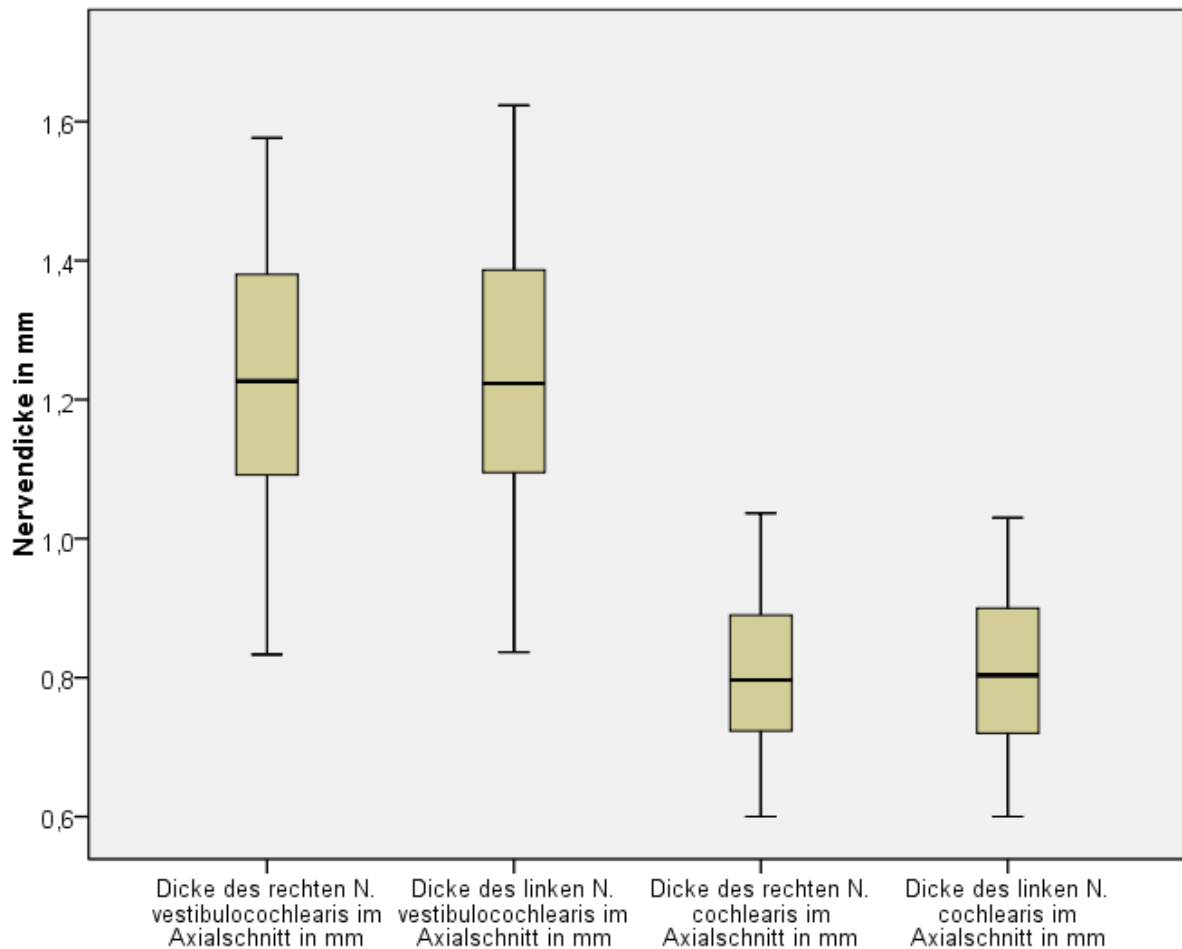
Abbildung 25: Boxplots: Verteilung der  $MW_{ABK-M}$  und  $MW_{ABK-W}$ .

#### 4.3.3 Unterschied der Dicke des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis der rechten und linken Seite

Der durchgeführte Wilcoxon-Test zeigte, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen dem N. vestibulocochlearis ( $p=0,574$ ) bzw. dem N. cochlearis ( $p=0,127$ ) des rechten und des linken Ohres gab.

In der folgenden Abbildung (Abb. 26) ist in Form von Boxplots die Verteilung der Nervendicken der rechten und linken Seite dargestellt. In Tabelle 13 im Anhang sind die Ergebnisse des Wilcoxon-Tests dargestellt.

## Ergebnisse



**Abbildung 26:** Boxplots: Verteilung der Nervendicken der rechten und linken Seite.

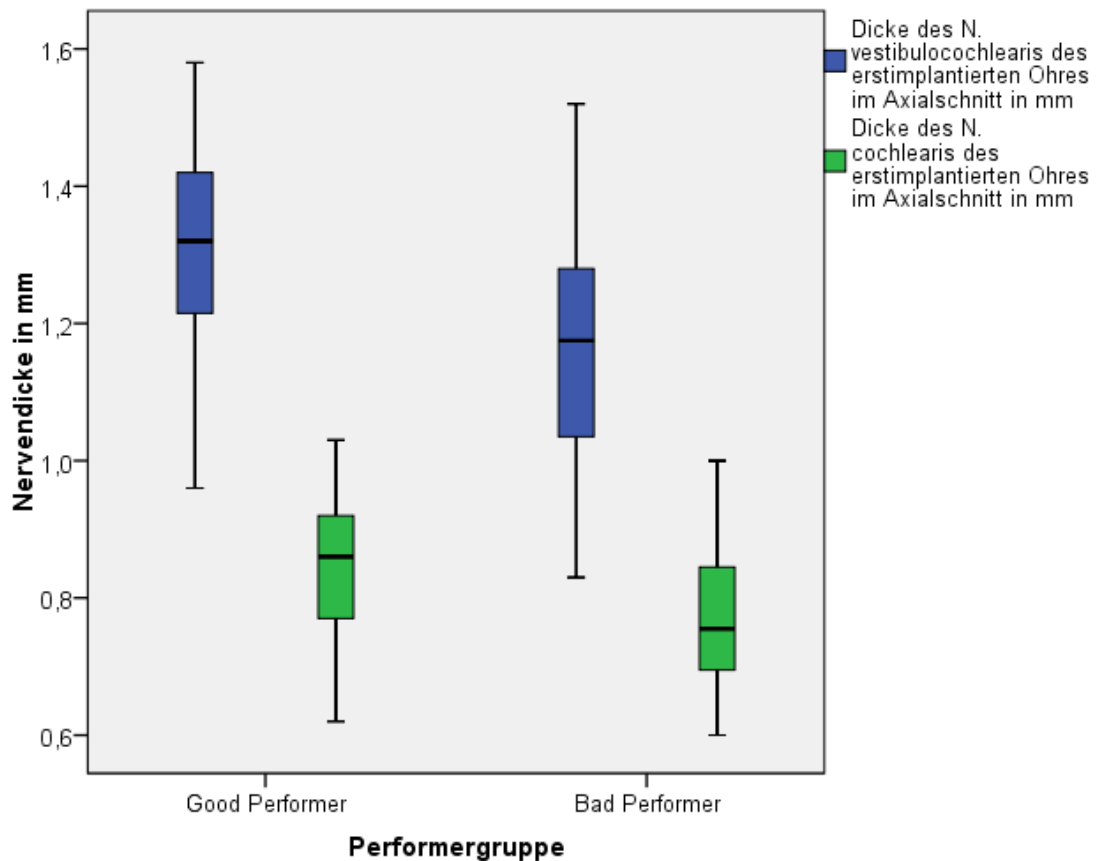
### 4.3.4 Unterschied der Dicke des N. vestibulocochlearis bzw. N. cochlearis zwischen den Gruppen

Der durchgeführte Mann-Whitney-U-Test zeigte, dass es einen signifikanten Unterschied der  $d_{NVC}$  ( $p=0,020$ ) bzw.  $d_{NC}$  ( $p=0,032$ ) zwischen den GP und BP gab (59, 60).

In der folgenden Abbildung (Abb. 27) ist in Form von Boxplots die Verteilung der Nervendicken des erstimplantierten Ohres in den Gruppen dargestellt. In Tabelle 14 im Anhang sind die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests dargestellt.



## Ergebnisse



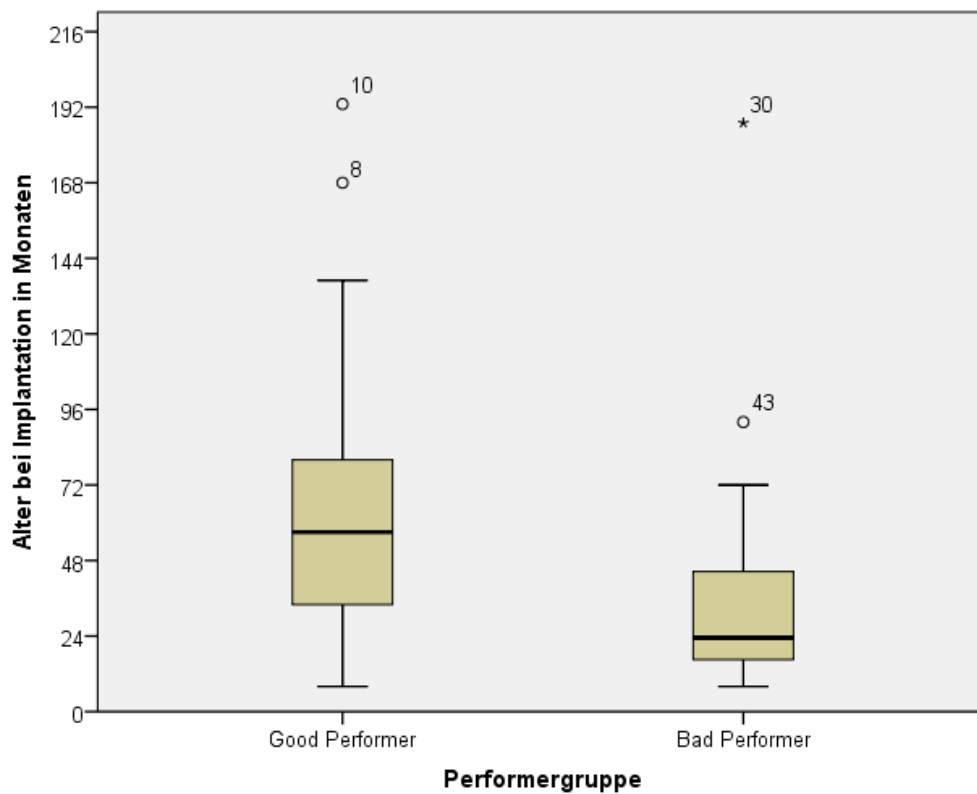
**Abbildung 27:** Boxplots: Verteilung der Nervendicken in den Gruppen (59, 60).

### 4.3.5 Unterschied des Zeitpunktes der CI-Versorgung

Der durchgeführte Mann-Whitney-U-Test zeigte, dass es einen signifikanten Unterschied ( $p=0,007$ ) in der Verteilung des Alters bei Implantation zwischen der Gruppe der Good Performer und der Gruppe der Bad Performer gab (59, 60).

In der folgenden Abbildung (Abb. 28) ist in Form von Boxplots die Verteilung des Alters bei Implantation in den Gruppen dargestellt. In Tabelle 15 im Anhang sind die Unterschiede des Alters bei Implantation zwischen den Good Performern und Bad Performern dargestellt.

## Ergebnisse



**Abbildung 28:** Boxplots: Verteilung des Alters bei Implantation in den Gruppen.

### 4.3.6 Unterschied des Höralters

Der durchgeführte Mann-Whitney-U-Test zeigte, dass es einen signifikanten Unterschied ( $p=0,009$ ) in der Verteilung des Höralters zwischen der Gruppe der Good Performer und der Gruppe der Bad Performer gab.

In der folgenden Abbildung (Abb. 29) ist in Form von Boxplots die Verteilung des Höralters in den Gruppen dargestellt. In Tabelle 16 im Anhang sind die Unterschiede des Höralters zwischen den Good Performern und Bad Performern dargestellt.

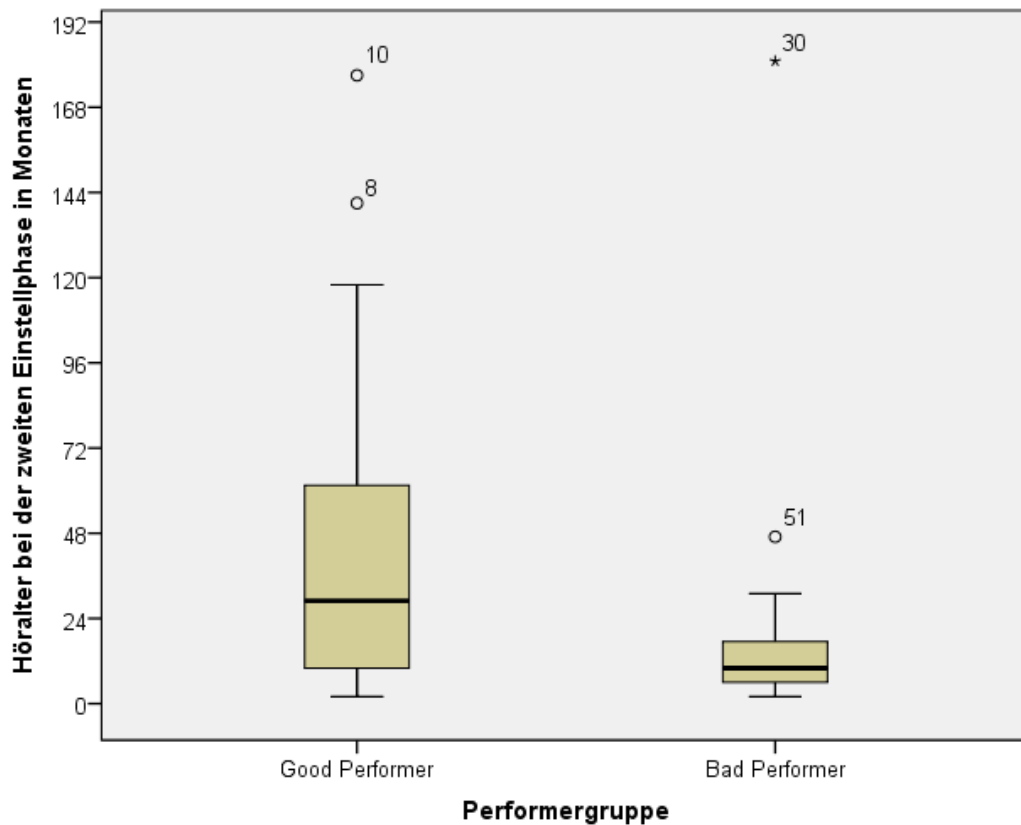


Abbildung 29: Boxplots: Verteilung des Höralters bei der 2. Einstellphase in den Gruppen.

## 5 Diskussion

### 5.1 Methoden

#### 5.1.1 Studiendesign

Da es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine retrospektive Studie handelt, konnte nicht bei allen Patienten ein vollständiger Datensatz aller zu untersuchenden Parameter erfasst werden. Es kam daher zum Ausschluss von 32 Patienten.

Die Messungen der Hörnervendicke wurden an vorher angefertigten MRT-Aufnahmen vorgenommen. Hierbei zeigte sich das Problem, dass nicht bei allen Aufnahmen eine CISS-Sequenz vorlag oder dass die Aufnahmen eine zu schlechte Qualität aufwiesen, um die Nerven präzise zu messen. Es kam auch vor, dass das MRT dem Kliniknetzwerk nicht zur Verfügung stand, wenn es extern angefertigt worden war. Ein weiterer Grund für den Ausschluss von Patienten war, dass die Kinder letztendlich doch nicht mit einem CI versorgt worden waren oder die Nachbetreuung nach Cochlea-Implantation nicht in Mainz stattfand.

## Diskussion

Der Vorteil einer retrospektiven Studie wie dieser liegt darin, dass sie Daten aus dem klinischen Alltag verwendet und damit diesen gut widerspiegelt. Bei einer prospektiven Studie hätte das Studiendesign ggf. die Diagnostik und Therapieentscheidung beeinflussen können.

### 5.1.2 Einteilung der Patientengruppen

Die Studienkinder wurden je nach Leistung entweder den Good Performern oder den Bad Performern zugeteilt. Die Art der Leistung und der Zeitpunkt wurden willkürlich festgesetzt. Die Leistung wurde definiert als  $MW_{ABK}$ , der in dieser Studie ein Maß für den frühen Hörerfolg darstellte. Der Zeitpunkt, der gewählt wurde, war die 2. Einstellphase. Anhand der Verteilung der Leistungen wurde der Median als Grenze zwischen den Gruppen bestimmt, sodass eine Leistung als gut erachtet wurde, wenn sie unterhalb der 50. Perzentile lag und als schlecht, wenn sie über der 50. Perzentile lag. Verglichen wurden die Teilnehmer also untereinander. Diese Einteilung bot sich für die Fragestellung der Studie, ob sich die Hörnervendicken von Kindern, die eine bessere Leistung nach CI-Versorgung zeigen, von den Hörnervendicken der Kinder, die eine schlechtere Leistung nach CI-Versorgung zeigen, an. Der Hörerfolg eines Patienten dieser Arbeit wurde also nur mit dem Hörerfolg der anderen Patienten dieser Arbeit in Relation gesetzt. Daher ist die Gruppeneinteilung nur spezifisch auf dieses Patientenkollektiv anwendbar.

### 5.1.3 Radiologische Untersuchungen

Vor CI-Versorgung gehören ein Dünnschicht-CT sowie ein MRT des Schädels u.a. mit Kontrastmittel zum diagnostischen Standard (28, 30, 34, 35). Die in der MRT-Untersuchung empfohlene Sequenz zur Darstellung des achten Hirnnervs ist dabei die 3D Fourier transformation (3DFT)-CISS-Sequenz (55-57). In der vorliegenden Arbeit wurde somit eine MRT-Sequenz zur Messung des N. vestibulocochlearis und N. cochlearis verwendet, in der die Nerven besonders gut sichtbar sind.

Eine geeignetere Methode zur Messung der Hörnerven wären MRT-Aufnahmen in sagittaler Schnittebene gewesen. Im Unterschied zu anderen Arbeiten wurden die Nerven in dieser Arbeit nur in axialer Ebene ausgemessen, da aufgrund des retrospektiven Studiendesigns nur bei wenigen Kindern sagittale Schnittebenen vorhanden waren. Durch Messungen in zwei Ebenen hätte man ggf. genauere Ergebnisse erzielen können, da man mit Hilfe der horizontalen und vertikalen Dicke

Diskussion

die Querschnittsfläche des Nervs bilden kann. Zu dem damaligen Zeitpunkt der Bildgebungen war diese Aufnahmetechnik in CISS-Sequenz allerdings nicht standardmäßig durchgeführt worden. Aus diesem Grund zogen wir für die Auswertung die axialen Schnitte heran, um eine möglichst hohe Fallzahl zu generieren.

Insgesamt zu beachten ist, dass sowohl die Dicken des N. vestibulocochlearis als auch des N. cochlearis im Millimeterbereich liegen. Somit sollten die Hörnerven möglichst präzise gemessen werden. Schon vermeintlich kleine Schwankungen in der Bestimmung der Dicke können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. In dieser Arbeit wurden alle Nervendicken drei Mal ausgemessen und aus den drei Werten der Mittelwert gebildet, was zu einer höheren Genauigkeit in der Bestimmung der tatsächlichen Dicke führen sollte. Die Anzahl an gemessenen Hörnervendicken lag insgesamt bei 660, 330 davon waren Dicken des N. vestibulocochlearis und 330 des N. cochlearis. Die Anzahl an Mittelwerten pro Hörnerv betrug 110. Die Anzahl an ermittelten Hörnervendicken der erstimplantierten Seite lag letztendlich bei 55 beim N. vestibulocochlearis und 55 beim N. cochlearis. Die Dicken des N. vestibulocochlearis und N. cochlearis wurden alle von einem Untersucher erfasst. Dies bedeutet, dass keine subjektiven Unterschiede in der Messmethode vorliegen, wie es zum Beispiel bei mehreren Untersuchern der Fall wäre.

Des Weiteren gilt die Schichtdicke der MRT-Aufnahmen zu beachten. Bei 52 Kindern lag eine Schichtdicke von 1 mm, bei 1 Kind eine Schichtdicke von 0,7 mm und bei 2 Kindern eine Schichtdicke von 0,5 mm vor. Da die Dicken der Hörnerven im Millimeterbereich lagen, waren die Schichtdicken in Bezug auf die Hörnervendicken relativ dick. Dünnere Schichtdicken wären für die Ermittlung der Hörnervendicken geeigneter gewesen.

Die vorliegende Studie spiegelt aber durch Verwendung ausschließlich im klinischen Alltag angefertigter Diagnostik die klinische Praxis wider und suchte nach einer nicht komplexen, in der Klinik umzusetzenden Methode, den Erfolg einer CI-Versorgung abzuschätzen.

#### **5.1.4 Audiologische Untersuchungen**

Die Variablen „Alter bei Implantation“ und „Höralter“ wurden anhand der Daten in den Patientenakten der HNO-Klinik der Universitätsmedizin Mainz berechnet. Die Daten sind zuvor im Rahmen der Behandlung und Diagnostik von Mitarbeitern des

## Diskussion

Schwerpunktes Kommunikationsstörungen der HNO-Klinik Mainz aufgenommen worden. Das „Alter bei Implantation“ entspricht der Spanne zwischen dem Geburtsdatum und dem Datum der CI-Operation der ersten Seite. Das „Höralter“ ist die Zeit in Monaten, in der durch das Tragen einer Hörhilfe, also einem Hörgerät oder einem CI, ein Höreindruck im erstimplantierten Ohr erzeugt werden konnte. Sie entspricht der Spanne zwischen dem Zeitpunkt der Hörgerätversorgung oder der CI-Versorgung und der 2. Einstellphase.

Bei einer Untersuchung eines homogeneren Patientenkollektivs, insbesondere bezüglich des Alters bei Implantation und des Höralters, hätte man aussagekräftigere Ergebnisse erhalten können.

Der  $MW_{ABK}$  nach Cochlea-Implantation (circa 9 Wochen postoperativ) stellte den Endpunkt der Studie dar. Dieser Parameter war unter dem Patientenkollektiv vergleichbar, da die Messung an der Universitätsmedizin Mainz standardisiert immer im gleichen festgelegten Intervall nach CI-Versorgung stattfand und immer von den gleichen Untersuchern standardisiert erhoben wurde. Er eignete sich besser als der Mittelwert der 1. Einstellphase 4 Wochen postoperativ, da in der 1. Einstellphase das CI zum allerersten Mal eingeschaltet und der Audioprozessor im Sinne einer "Hörerweckung" angepasst wird. Aufgrund mangelnder Hörerfahrung und ungewohnter Umgebung und Aufgabenstellung können zu diesem Zeitpunkt nicht immer bei allen Kindern Hörschwellen über allen gewünschten Frequenzen abgebildet bzw. wahrgenommen und reproduziert werden. Die intensive Therapie, die die Kinder während der Einstellphase erhalten, trägt zusätzlich dazu bei, dass die Kinder hören lernen. Des Weiteren muss erreicht werden, dass das Kind den AP am Kopf toleriert und ausreichend lange täglich trägt. Da tonaudiometrische Verfahren subjektive Verfahren sind, verlangt es viel Erfahrung des Untersuchers und Mitarbeit des Kindes sowie ggf. der Angehörigen. In der 2. Einstellphase haben die Kinder schon etwas mehr Hörerlebnisse mit dem AP und sind therapieerfahrener. Außerdem sind sie mit der Diagnostik, aber auch mit der Umgebung und den Mitarbeitern mehr vertraut und können in der Regel besser mitarbeiten.

Zudem werden die Einstellungen des Cochlea-Implantats in der 2. Einstellphase noch genauer angepasst, was idealerweise zu besseren tonaudiometrischen Ergebnissen führen sollte.

Langzeitergebnisse des Hörerfolges hätten eine bessere Aussagekraft als die in dieser Arbeit verwendeten sehr frühen audiologischen Messungen. Diese könnte

## Diskussion

man in einer prospektiv angelegten Studie untersuchen. Dadurch könnte man sehen, ob und wann sich die frühen Hörerfolge, die in dieser Arbeit ermittelt wurden, mit der Zeit ändern. Bei älteren Kindern wäre es dann auch möglich, weitere audiologische Untersuchungen, wie zum Beispiel Sprachaudiometrien auszuwerten, welche das Hören bzw. die Höranforderungen im Alltag besser widerspiegeln.

Die tonaudiometrische Diagnostik eignete sich aufgrund der Anzahl an sehr jungen Patienten in dieser Studie gut als Vergleichsparameter, da zum Untersuchungszeitpunkt noch nicht immer ein ausreichender Spracherwerb bei den implantierten Kindern vorlag, um eine vergleichbare Sprachaudiometrie durchzuführen. Die tonaudiometrischen Messungen durch erfahrene, langjährig in der Pädaudiologie tätige (päd-)audiologische Assistenten ist an der HNO-Klinik Mainz im Schwerpunkt Kommunikationsstörungen in der Regel die Basis bei neu mit CI versorgten Kindern, um einen ersten Eindruck des Hörens des Kindes zu erhalten. Als subjektives audiometrisches Verfahren ist die Tonaudiometrie von der Mitarbeit der Patienten abhängig. Sehr junge Patienten können die Situation nicht immer begreifen und sind kognitiv noch nicht fähig, mitzuarbeiten. Die Audiologen müssen bei den Untersuchungen das Kind genau beobachten und schauen, wie sich das Kind bei Lautstärkeveränderungen eines Tons verhält, da diese sich nicht immer genau mitteilen können. Die ABK wurde in Abhängigkeit vom Entwicklungsstand der Kinder durch Reaktionsaudiometrie im Freifeld mit Audioprozessor, als visuell konditionierte Ablenkaudiometrie (VRA) nach Konditionierung durch einen visuellen Verstärker oder eigene Angaben im Rahmen einer Spielhandlung ermittelt. Tonaudiometrische Verfahren können bei Kindern, die nicht nur ein- sondern mehrsprachig aufwachsen, leichter als sprachaudiometrische Verfahren sein. Bei Kindern, bei denen zu Hause hauptsächlich eine andere Sprache als Deutsch gesprochen wird, ist es schwierig, eine Sprachaudiometrie in deutscher Sprache durchzuführen.

Zu diskutieren ist, ob die Einstellungen des Audioprozessors des CI bei manchen Kindern lauter eingestellt waren als bei anderen. Da die Daten retrospektiv erhoben wurden, wurden die Einstellungen des CI in der 2. Einstellphase von den Mitarbeitern der Audiologie des Schwerpunktes Kommunikationsstörungen der Universitätsmedizin Mainz unabhängig von dieser Arbeit erfasst. Die Einstellungen des Audioprozessors wurden standardisiert so vorgenommen, dass sie optimal an das jeweilige Kind angepasst waren. Zu nennen ist außerdem, dass außer der

## Diskussion

Lautstärke des Audioprozessors weitere Faktoren für den Hörerfolg des Kindes eine Rolle spielen, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit diskutiert werden.

Die Aufblähkurve in der 2. Einstellphase nach CI-Versorgung ist an der Universitätsmedizin Mainz ein gängiger Parameter, um den Hörerfolg eines mit einem CI oder anderen Hörsystem versorgten Kindes einzuschätzen.

### 5.2 Diskussion der Ergebnisse

Die zu Beginn dieser Arbeit gestellten Fragen sollen hier beantwortet und die Ergebnisse diskutiert werden.

1. Gibt es eine signifikante Korrelation zwischen der Nervendicke des erstimplantierten Ohres  $d_{NVC}$  bzw.  $d_{NC}$  und dem Alter bei Bildgebung?

Es zeigte sich eine signifikante ( $p=0,000$ ) positive Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten  $r=0,588$  zwischen der Dicke des N. vestibulocochlearis und dem Alter bei Bildgebung. Es handelt sich dabei um einen mittelstarken positiven monotonen Zusammenhang. **Somit war der N. vestibulocochlearis eher dicker, je älter das Kind bei Bildgebung war.**

Die Korrelation zwischen dem Alter bei Bildgebung und der Dicke des N. cochlearis war signifikant ( $p=0,006$ ) mit einem schwachen positiven Korrelationskoeffizienten  $r=0,368$ . **Somit war auch der N. cochlearis eher dicker, je älter das Kind bei Bildgebung war.**

Bei beiden Untersuchungen wurde die Rangkorrelation nach Spearman bestimmt, da die Stichprobe nicht groß war und keine Normalverteilung vorlag.

Aufgrund dieses Ergebnisses könnte man annehmen, dass die Hörnerven bei Kindern noch nicht ausgewachsen sind und im Verlauf der kindlichen Entwicklung noch an Größe zunehmen. Es könnte jedoch auch an einer längeren Hörerfahrung und der damit verbundenen Stimulation des Hörnervs liegen.

2. Gibt es eine signifikante Korrelation zwischen der Nervendicke des erstimplantierten Ohres  $d_{NVC}$  bzw.  $d_{NC}$  und dem Mittelwert der besten Aufblähkurve in der 2. Einstellphase?

Es zeigte sich eine signifikante Korrelation ( $p=0,022$ ) zwischen der Nervendicke  $d_{NVC}$  und dem  $MW_{ABK}$  (59, 60). Der Korrelationskoeffizient für  $d_{NVC}/MW_{ABK}$  betrug



Diskussion

$r=-0,309$ , was einer schwachen negativen Korrelation entspricht (59, 60). **Somit zeigte sich, dass je dicker der N. vestibulocochlearis war, desto eher war der frühe Hörerfolg besser (59, 60).**

Auch lag eine signifikante Korrelation ( $p=0,018$ ) zwischen der Nervendicke  $d_{NC}$  und dem  $MW_{ABK}$  vor (59, 60). Der Korrelationskoeffizient für  $d_{NC}/MW_{ABK}$  betrug  $r=-0,319$ , was einer schwachen negativen Korrelation entspricht (59, 60). **Somit zeigte sich, dass je dicker der N. cochlearis war, desto eher war der frühe Hörerfolg besser (59, 60).**

Bei beiden Untersuchungen wurde die Rangkorrelation nach Spearman bestimmt, da keine Normalverteilung vorlag und die Fallzahl nicht groß war (59, 60). Das Ergebnis weist auf einen monotonen Zusammenhang der Variablen hin, jedoch nicht auf Kausalität.

Aufgrund dieses Ergebnisses könnte man annehmen, dass je dicker der Hörnerv ist, desto mehr Nervenfasern vorliegen, die einen Höreindruck übermitteln können.

Im Patientenkollektiv gab es in der Verteilung der  $MW_{ABK}$  einen Ausreißer (Ausreißer „45“). Dieser hatte den höchsten  $MW_{ABK}$  von 85,0 dB. Die Dicke des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres bei diesem Kind betrug 0,92 mm und lag damit über der mittleren Dicke des gesamten Patientenkollektivs. Das Alter bei Implantation betrug 17 Monate, was bedeutet, dass dieses Kind zu den jüngeren Kindern bei Implantation zählte. Womöglich war deshalb bei diesem Patienten zur Ermittlung der Aufblähkurve eher überschwellig gemessen worden. Auch das Höralter von 11 Monaten bei der 2. Einstellphase gehörte zu einem eher geringen Höralter im Vergleich zum gesamten Patientenkollektiv, was bedeutet, dass das Kind nicht so viel Hörerfahrung wie andere gesammelt hatte. Außer der Diagnose Hörrestigkeit bestand bei diesem Kind der Verdacht auf einen allgemeinen psychomotorischen Entwicklungsrückstand, was zudem die Bestimmung der genauen Hörschwelle erschwert haben könnte. Eine Entwicklungsdiagnostik war noch nicht erfolgt. Die humangenetische Untersuchung war unauffällig ausgefallen. In der Familie wurde Deutsch und Arabisch gesprochen.

3. Gibt es einen signifikanten Unterschied der Nervendicke zwischen der rechten und linken Seite?

## Diskussion

In dieser Studie lag kein signifikanter Unterschied zwischen der Dicke des rechten und des linken N. vestibulocochlearis ( $p=0,574$ ) bzw. des N. cochlearis ( $p=0,127$ ) vor. Für beide Untersuchungen wurde der Wilcoxon-Test verwendet, da keine Normalverteilung der Daten vorlag.

Dieses Ergebnis deckt sich mit der Annahme, dass bei symmetrischer Anordnung im Schädel eine Größendifferenz der Hörnerven nicht zu erwarten wäre.

### 4. Gibt es einen signifikanten Unterschied der Nervendicke des erstimplantierten Ohres $d_{NVC-M}$ und $d_{NVC-W}$ bzw. $d_{NC-M}$ und $d_{NC-W}$ zwischen den Geschlechtern?

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen  $d_{NVC-M}$  und  $d_{NVC-W}$  bzw.  $d_{NC-M}$  und  $d_{NC-W}$  zwischen Mädchen und Jungen ( $p=0,437$  bzw.  $p=0,417$ ). Für diese Untersuchungen wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet, da weder für  $d_{NVC-M}$  und  $d_{NVC-W}$  noch für  $d_{NC-M}$  und  $d_{NC-W}$  eine Normalverteilung vorlag.

Es gibt keinen Grund für die Annahme, dass sich die Hörnerven bei Jungen und Mädchen signifikant unterscheiden sollten, da Hören keine geschlechtsspezifische Leistung darstellt. Zudem bildet sich der Geschlechtsdimorphismus im Wesentlichen erst nach der Pubertät aus, falls man annimmt, dass dies Einfluss haben könnte.

### 5. Gibt es eine signifikante Korrelation zwischen dem Mittelwert der besten Aufblähkurve in der 2. Einstellphase und

- a. dem Alter bei Implantation?
- b. dem Höralter?

Es zeigte sich eine signifikante Korrelation ( $p=0,002$ ) zwischen dem Alter bei Implantation und dem  $MW_{ABK}$  (59, 60). Der Korrelationskoeffizient betrug  $r=-0,403$  und weist auf eine schwache negative Korrelation hin, was bedeutet, dass je jünger das Kind bei Implantation war, desto lauter fielen die  $MW_{ABK}$  aus (59, 60). **Somit tendierten jünger implantierte Kinder in dieser Arbeit eher dazu, schlechtere Ergebnisse in der 2. Einstellphase zu zeigen (59, 60).**

Für diese Untersuchung wurde die Rangkorrelation nach Spearman bestimmt, da keine Normalverteilung vorlag und die Fallzahl nicht groß war (59, 60). Das Ergebnis weist auf einen monotonen Zusammenhang der Variablen hin, jedoch nicht auf Kausalität.

## Diskussion

Das Ergebnis könnte darin begründet sein, dass bei den jungen Patienten teilweise überschwellig gemessen und nicht wie bei den älteren Patienten die genaue Hörschwelle durch eigene Angaben ermittelt werden konnte.

Auch zeigte sich eine signifikante Korrelation ( $p=0,002$ ) zwischen dem Höralter und dem  $MW_{ABK}$ . Der Korrelationskoeffizient betrug  $r=-0,401$ . **Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass Kinder, die eine längere Hörerfahrung hatten, eher bessere Ergebnisse in der 2. Einstellphase erreichten.**

Auch für diese Untersuchung wurde die Rangkorrelation nach Spearman bestimmt, da keine Normalverteilung vorlag und die Fallzahl nicht groß war (59, 60). Das Ergebnis weist auf einen monotonen Zusammenhang der Variablen hin, jedoch nicht auf Kausalität.

Denkbar wäre, dass eine längere Hörerfahrung durch akustische Stimulation mit einer Größenzunahme des Hörnervs einhergeht. Der dickere Hörnerv könnte dann, wie in Frage 2 bereits diskutiert, mit einem besseren Hörerfolg zusammenhängen.

6. Gibt es einen signifikanten Unterschied der Mittelwerte der besten Aufblähkurve in der 2. Einstellphase zwischen den Geschlechtern?

Der Mittelwert der  $MW_{ABK-M}$  bei den Jungen lag bei 48,3 dB (SD 15,0 dB), der Mittelwert der  $MW_{ABK-W}$  bei den Mädchen lag bei 43,3 dB (SD 11,5 dB).

In der Gruppe der GP waren mehr Mädchen (56%) als Jungen (44%), in der Gruppe der BP mehr Jungen (64%) als Mädchen (36%). Man könnte sich deshalb fragen, ob Mädchen insgesamt bessere Ergebnisse nach CI-Versorgung als Jungen erreichen.

Es konnte allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen den  $MW_{ABK-M}$  und  $MW_{ABK-W}$  festgestellt werden ( $p=0,275$ ). Das Geschlecht ist somit kein signifikanter Einflussfaktor für den frühen Hörerfolg. Für diese Untersuchungen wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, da keine Normalverteilung vorlag.

Wie in der Antwort zu Frage 4 bereits erwähnt wurde, bestand kein Unterschied in der Nervendicke zwischen Jungen und Mädchen. Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass sich auch der Hörerfolg zwischen Jungen und Mädchen nicht unterscheidet. In der Studie hier wurden zur Bestimmung des Hörerfolgs tonaudiometrische Verfahren verwendet. Interessant wäre, ob sich der Hörerfolg zwischen den Geschlechtern unterscheiden würde, wenn man sprachaudiometrische Verfahren anwendet.

7. Gibt es einen signifikanten Unterschied der Nervendicke des erstimplantierten Ohres  $d_{NVC}$  bzw.  $d_{NC}$  zwischen Good und Bad Performern?

Es zeigte sich, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den GP  $d_{NVC}$  und BP  $d_{NVC}$  bzw. GP  $d_{NC}$  und BP  $d_{NC}$  gab (59, 60). **Die Good Performer hatten signifikant dickere Nn. vestibulocochleares ( $p=0,020$ ) bzw. Nn. cochleares ( $p=0,032$ ) als die Gruppe der Bad Performer (59, 60).**

Für beide Untersuchungen wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, da die Nervendicken nicht normalverteilt waren (59, 60).

Dieses Ergebnis deckt sich mit der Annahme in Antwort 2, dass bei einem dickeren Hörnerv mehr Nervenfasern vorliegen, die einen Höreindruck übermitteln können, was letztendlich zu einem besseren Hörerfolg führt.

Die in dieser Arbeit gestellte Frage „Korreliert die Hörnervendicke mit dem frühen Outcome nach CI-Versorgung bei Kindern?“ kann man mithilfe dieser Ergebnisse beantworten: **Die Hörnervendicke korreliert mit dem frühen Outcome nach CI-Versorgung bei Kindern. Allerdings ist diese Korrelation nur schwach und auch nicht linear.** Es besteht ein monotoner Zusammenhang der Variablen. Das Ergebnis der Korrelationsbestimmung wird bestärkt durch das Ergebnis des Gruppenvergleichs. Der durchgeführte Mann-Whitney-U-Test zeigte, dass die Gruppe der GP signifikant dickere Hörnerven besitzen als die Gruppe der BP.

Weiterhin zu beachten ist, dass die Gruppe der Good Performer im Mittel älter bei Bildgebung war als die Gruppe der Bad Performer (5;00 Jahre vs. 2;08 Jahre).

In Frage 1 zeigte sich, dass sowohl der N. vestibulocochlearis als auch der N. cochlearis eher dicker waren, je älter das Kind bei Bildgebung war. Dieses Ergebnis könnte eine Erklärung dafür sein, wieso die Hörnervendicken in der Gruppe der GP signifikant größer waren als die der BP. Die Kinder in der Gruppe der GP wurden signifikant älter implantiert als die Kinder in der Gruppe der BP.

Interessant wäre, ob sich dieselben Ergebnisse gezeigt hätten, wenn man die Fläche der Hörnerven, also die Dickenmessungen nicht nur in einer Ebene, sondern in zwei Ebenen durchgeführt hätte.

Zu diskutieren gilt auch, ob die MRT-Aufnahmen sich in der Auflösung zwischen den Gruppen unterschieden. In der Gruppe der GP wurden 25 (93%) MRT-Aufnahmen mit 1,5 Tesla-Geräten angefertigt. Bei 2 (7%) Kindern hatte der

## Diskussion

Magnetresonanztomograph eine Feldstärke von 3 Tesla. Alle 28 Aufnahmen der Gruppe der BP wurden mit 1,5-Tesla-Geräten angefertigt. Eine höhere Feldstärke führt zu einem höheren Signal-zu-Rausch-Verhältnis, wodurch eine höhere Detailauflösung bei gleicher Aufnahmezeit erreicht werden kann. Allerdings steigt dabei auch die Anfälligkeit der MRT-Untersuchungen für Störeffekte und Magnetfeldinhomogenitäten (62, 63). Die GP hatten also 2 Aufnahmen besserer Auflösung, was bedeuten könnte, dass die Hörnerven bei diesen Teilnehmern besser abgrenzbar und besser zu messen waren als die der anderen Teilnehmer. Dies könnte einen Einfluss auf die gemessenen Werte haben.

In beiden Gruppen war jeweils 1 Kind von einer unilateralen Hörstörung betroffen. Die beiden Gruppen sind bezüglich dieses Parameters also vergleichbar.

8. Gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen Good und Bad Performern:
  - a. im Zeitpunkt der CI-Versorgung?
  - b. im Höralter?

In der Gruppe der Good Performer lag das durchschnittliche Alter bei Implantation bei 5;04 Jahren (59, 60). In der Gruppe der Bad Performer lag das mittlere Alter bei Implantation bei 2;11 Jahren (59, 60). Die Kinder in der Gruppe der BP waren im Mittel also jünger bei Implantation als die Kinder in der Gruppe der GP (59, 60).

Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Verteilung des Alters bei Implantation zwischen den Good Performern und den Bad Performern ( $p=0,007$ ) (59, 60). **Die Good Performer waren signifikant älter bei Implantation als die Bad Performer (59, 60).**

Da die Daten nicht normalverteilt waren, wurde für diese Untersuchung der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt.

Ein möglicher Grund dafür, dass die Kinder in der Gruppe der GP signifikant älter bei Implantation waren als die BP könnte sein, dass ältere Kinder die Aufgabenstellung in der subjektiven audiometrischen Diagnostik besser verstanden haben und somit besser mitarbeiten konnten. Die jüngeren Kinder könnten kognitiv noch nicht so entwickelt gewesen sein, dass man eine Aufblähkurve genau bestimmen konnte, sondern die Messwerte eher überschwellig waren, da man den Wert vor allem an der Reaktion des Kindes ablesen musste.

## Diskussion

Aussagekräftigere Ergebnisse hätte man erzielen können, wenn das Alter bei Implantation in dem Patientenkollektiv homogener gewesen wäre. Dann hätte diese Variable nicht zusätzlich so einen starken Einfluss auf die Ergebnisse gehabt.

Auch wurden die Gruppen hinsichtlich der Verteilung des Höralters untersucht. In der Gruppe der Good Performer lag das durchschnittliche Höralter bei 3;06 Jahren, in der Gruppe der Bad Performer lag das durchschnittliche Höralter bei 1;06 Jahren. Die Kinder in der Gruppe der BP hatten also im Mittel ein geringeres Höralter als die Kinder in der Gruppe der GP. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied im Höralter zwischen der Gruppe der Good Performer und der Gruppe der Bad Performer ( $p=0,009$ ). **Dabei hatte die Gruppe der Good Performer ein signifikant höheres Höralter als die Gruppe der Bad Performer.** Die Kinder in der Gruppe der GP hatten signifikant mehr Hörerfahrung als die Kinder in der Gruppe der BP.

Da die Daten nicht normalverteilt waren, wurde für diese Untersuchung der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt.

Eine Erklärung, weshalb die GP, die älter bei Implantation waren, einen besseren frühen Hörerfolg hatten, könnte durch die längere Hörerfahrung im Vergleich zu den jüngeren BP sein. Hörerfahrung soll ein wichtiger Einflussfaktor für den Erfolg mit einem CI sein (44, 64). Bei residuellem Hörvermögen vor CI-Versorgung können Kinder noch von Hörgeräten profitieren und dadurch Hörerfahrung sammeln, was daraufhin zu einem besseren Hörerfolg nach Cochlea-Implantation führen könnte (45).

Bei den GP waren nicht alle der 27 Kinder mit einem Hörgerät versorgt gewesen. 2 Kinder (7%) hatten vor der Versorgung kein Hörgerät erhalten. Bei 1 Kind war die Ursache der Schwerhörigkeit eine Meningitis, weshalb man das Kind so schnell wie möglich mit einem CI versorgte. Das andere Kind, das kein Hörgerät trug, litt links unter einer Surditas, wobei rechts das Hörvermögen annähernd normal mit einem Hochtonsteilabfall war. Bei den BP waren alle 28 Kinder (100%) vor Cochlea-Implantation mit einem Hörgerät versorgt.

Die Güte der Hörerfahrung wurde in dieser Arbeit leider nicht erfasst. Dieser Faktor könnte sicherlich auch Einfluss auf den Erfolg mit dem CI haben.

Die Patienten unterschieden sich hinsichtlich der Ursachen der Schwerhörigkeit. In beiden Gruppen waren jeweils bei 17 Kindern (63%) die Ursache der Schwerhörigkeit unklar. In der Gruppe der GP litten 6 Kinder (22%) bzw. bei den BP

## Diskussion

8 Kinder (29%) an einer hereditären Hörstörung. Bei 2 Kindern (7%) der GP war eine konnatale Infektion die Ursache der Schwerhörigkeit. Bei 1 Kind (4%) der GP war die Hörstörung durch eine Meningitis bedingt und bei 1 weiteren Kind (4%) der GP bzw. 3 Kindern der BP (11%) lag eine andere Ursache für die Hörstörung vor.

Der frühe Hörerfolg wurde sicherlich auch durch die Ursache der Schwerhörigkeit beeinflusst.

Ein weiterer Faktor, der in dieser Arbeit erfasst wurde, war, ob eine Sprachentwicklungsstörung bestand. In der Gruppe der GP wurde bei mehr Patienten die Diagnose Sprachentwicklungsstörung gestellt als in der Gruppe BP. Diese Ergebnisse unterliegen jedoch einem großen Einfluss, nämlich dem Patientenalter, da diese Diagnose erst nach dem 3. Geburtstag gestellt werden kann. Die Kinder der BP waren insgesamt jünger als die der GP. Bei den sehr jungen Kindern, die noch nicht sprechen können, kann die Diagnose Sprachentwicklungsstörung folglich noch nicht gestellt werden, was dieses Ergebnis beeinflusst.

Mehrspracherwerb soll sich negativ auf das Ergebnis nach CI-Versorgung auswirken (65). In beiden Gruppen lag der Anteil an Zwei- oder Mehrspracherwerb ähnlich hoch. In der Gruppe der GP lag bei 30% ein Zwei- oder Mehrspracherwerb vor, in der Gruppe der BP bei 25%. In dieser Arbeit beeinflusste dieser Faktor nicht die Zuteilung zu den Performergruppen. Dies kann einerseits daran liegen, dass die Fallzahl relativ gering war oder besonders viele Kinder mit Mehrspracherwerb an der Universitätsmedizin Mainz behandelt werden. Andererseits ist diese Variable stark beeinflusst vom Alter der Patienten. Jüngeren Patienten standen erst am Anfang des Spracherwerbs, deshalb kann man bei ihnen noch nicht von Mehrspracherwerb sprechen. In dieser Studie wurde zudem zur Messung des Hörerfolges kein sprachaudiometrisches Verfahren, sondern ein tonaudiometrisches Verfahren verwendet.

Ein weiterer Faktor, der Einfluss auf den frühen Hörerfolg haben könnte, ist das Implantat, das die Kinder erhalten haben. In der Gruppe der GP erhielten 33% das Implantat „Med El Concerto“. Bei den BP lag der Anteil höher bei 54%. Das Implantat „Med El Synchrony“ trugen bei den GP 56% und bei den Bad Performern 29%. Dies zeigt, dass ein größerer Teil der GP das neuere Implantat „Med El Synchrony“

## Diskussion

erhalten hatte und ein größerer Teil der BP das ältere Modell „Med El Concerto“. Andere Modelle waren in einer so geringen Zahl implantiert worden, dass eine Wertung bezüglich der Verteilung zwischen den GP und BP nicht aussagekräftig wäre. Insgesamt war der Hersteller Med El unter dem Patientenkollektiv am häufigsten vertreten, wobei die Good Performer mit neueren Modellen implantiert waren als die Bad Performer. Dies könnte Einfluss auf den Hörerfolg und somit die Gruppenzuteilung gehabt haben, wenn man annimmt, dass neuere Modelle durch eine technische Verbesserung zu einem besseren Hörerfolg führen.

Ähnlich verhielt es sich mit der Verteilung der Audioprozessoren. In der Gruppe der Good Performer verwendeten 44% den Audioprozessor „Opus 2“, in der Gruppe der Bad Performer 61%. 44% der Kinder der Good Performer trugen den Audioprozessor „Sonnet“, bei den Bad Performer lag der Anteil bei 21%. **Die Good Performer waren somit häufiger mit neueren Audioprozessoren von Med El versorgt als die Bad Performer.** Andere Audioprozessoren waren in einer so geringen Zahl implantiert worden, dass eine Wertung bezüglich der Verteilung zwischen den GP und BP nicht aussagekräftig gewesen wäre. Insgesamt waren Audioprozessoren des Herstellers Med El am häufigsten unter dem Patientenkollektiv vertreten, wobei die Good Performer neuere Modelle erhalten hatten. Dies könnte Einfluss auf den Hörerfolg und die Gruppenzuteilung gehabt haben, wenn man, wie oben bereits erwähnt, von einer Verbesserung der Hörleistung durch eine technische Verbesserung der Hörhilfe ausgeht.

Unter Berücksichtigung der erhaltenen Ergebnisse dieser Studie lässt sich folgende Schlussfolgerung postulieren:

Die Gruppe der GP war bei Implantation älter, zeigte einen dickeren Hörnerv und eine höheres Höralter. Dieser Zusammenhang führt zur Vermutung, dass in dieser Studie ein höheres Alter bei Implantation auch eine längere Hörerfahrung vor Implantation bedeutete. Eine längere Stimulation der Nervenzellen könnte im Zusammenhang mit einem dickeren Hörnerv stehen. Dies legt die Vermutung nahe, dass durch einen besser ausgebildeten Hörnerv auch eine bessere Reizübermittlung an das Gehirn erfolgen kann, was letztendlich eine bessere Aufblähkurve nach CI-Versorgung erklärt.



### 5.3 Vergleich mit Literatur

In der Literatur finden sich zahlreiche Studien, die untersuchen, welche Parameter zu einem erfolgreichen Ergebnis nach Cochlea-Implantation beitragen.

Morita et al. (66) führten eine der vorliegenden Arbeit ähnliche Studie durch, die den Zusammenhang zwischen den Durchmessern des achten Hirnnervs und der postoperativen Hörleistung verglichen. Eingeschlossen waren 20 Kinder zwischen 2 und 6 Jahren, die vor Spracherwerb ertaubt waren (66). In der vorliegenden Studie konnten 55 Kinder eingeschlossen werden. Das Alter bei Implantation variierte in der vorliegenden Arbeit stärker, die Kinder waren zwischen 8 Monaten und 16;01 Jahre bzw. 193 Monate alt. 19 von 55 Kindern in der vorliegenden Studie waren vor dem 2. Geburtstag mit einem CI versorgt worden. Der Durchmesser der Hörnerven wurde bei Morita et al. (66) wie in der vorliegenden Studie in T2-gewichteten MRT-Aufnahmen ausgemessen, allerdings nicht durch einen Untersucher, sondern mit Hilfe eines Bildanalysierungsprogramms des US National Institute of Health. Der Durchmesser des N. cochlearis wurde unmittelbar medial zum Fundus des inneren Gehörgangs im Bild mit dem größten Durchmesser ermittelt (66). Der Durchmesser des N. vestibulocochlearis wurde medial zum Porus acusticus internus im Bild mit dem größten Durchmesser ermittelt (66).

Der Mittelwert der operierten Seite der Studie von Morita et al. (66) betrug beim N. cochlearis 0,9 mm ( $\pm 0,2$  mm) und beim N. vestibulocochlearis 1,2 mm ( $\pm 0,3$  mm).

In der vorliegenden Studie lag die mittlere Dicke des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres bei 0,80 mm ( $\pm 0,11$  mm). Die mittlere Dicke des N. vestibulocochlearis des erstimplantierten Ohres in der vorliegenden Studie lag bei 1,23 mm ( $\pm 0,19$  mm).

In der vorliegenden Studie zeigte die Dicke des N. cochlearis einen geringeren Mittelwert als in der Studie von Morita et al. (66). Die Streuung der Messdaten waren in der vorliegenden Arbeit zudem etwas geringer. Dies kann an den unterschiedlichen Messmethoden der Nerven liegen. In der vorliegenden Studie wurden die Hörnerven alle von einem Untersucher und nicht von einem Bildanalysierungsprogramm gemessen. Zudem lag die Anzahl an gemessenen Hörnerven bei Morita et al. (66) bei 17, in der vorliegenden Studie lag sie bei 55. Des Weiteren wurde zur größeren Genauigkeit in der vorliegenden Studie pro Patient drei Mal gemessen und der Mittelwert daraus gebildet.

## Diskussion

In der Studie von Morita et al. (66) korrelierte die Hörnervendicke nicht mit dem Alter. In der vorliegenden Studie korrelierte die Hörnervendicke mit dem Alter. Allerdings wurde in der Studie von Morita et al. (66) die lineare Korrelation nach Pearson bestimmt. In der vorliegenden Studie wurde die Rangkorrelation nach Spearman bestimmt, da keine Normalverteilung vorlag, Ausreißer vorhanden waren und die Fallzahl nicht sehr hoch war. Mit einem Korrelationskoeffizienten  $r=0,588$  für den N. vestibulocochlearis und  $r=0,368$  für den N. cochlearis lag in der vorliegenden Studie eine Korrelation mittleren Effekts zwischen der Dicke des N. vestibulocochlearis und dem Alter bei Bildgebung und eine Korrelation schwachen Effekts zwischen der Dicke des N. cochlearis und dem Alter bei Bildgebung vor.

Um die Hörleistung zu evaluieren wurde bei Morita et al. (66) intraoperativ das elektrisch evozierte zusammengesetzte Aktionspotential (ECAP) zur Bestimmung der Hörschwelle des N. cochlearis gemessen und der erzielte Wert im IT-MAIS (Infant-Toddler-Meaningful Auditory Integration Scale) verwendet. Eine Arbeit von Zhong et al. (67) untersuchte die Reliabilität und Validität sowohl dieses Tests als auch des MAIS (Meaningful Auditory Integration Scale) und MUSS (Meaningful Use of Speech Scale). Sie kamen zu dem Ergebnis, dass diese Tests verwendet werden können, um das Hören und Sprechen von Kindern nach CI-Versorgung zu bewerten (67). In der vorliegenden Arbeit wurden die Mittelwerte der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase nach CI-Versorgung zur Bewertung des sehr frühen Hörerfolgs benutzt. Dieser Wert wurde verwendet, da er an der Universitätsmedizin Mainz in der Regel bei allen implantierten Kindern ermittelt wird. Er bildet somit einen diagnostischen Test des klinischen Alltags ab. Der Wert war interessant, weil er sehr früh nach Implantation ermittelt wird und es praktisch wäre, wenn man schon zu so einem frühen Zeitpunkt das Outcome nach CI-Versorgung abschätzen könnte, um z.B. das weitere Procedere oder entsprechende Förderung darauf abstimmen zu können.

In der Arbeit von Morita et al. (66) unterschied sich das Ergebnis in den Tests 12 Monate nach CI-Versorgung der Gruppe der Patienten mit sichtbaren Hörnerven von der ohne sichtbaren Hörnerv im MRT signifikant. Sie kamen mit ihrer Arbeit somit zur Schlussfolgerung, dass von einem Erfolg des CI auszugehen ist, sobald der N. cochlearis und N. vestibulocochlearis im MRT zu sehen sind, unabhängig ihres Durchmessers (66). In der vorliegenden Arbeit wurden nur Patienten eingeschlossen, bei denen sowohl der N. cochlearis als auch der N. vestibulocochlearis im MRT zu

## Diskussion

messen waren. Es gab also keine Teilnehmer ohne messbaren Hörnerven. In der vorliegenden Arbeit unterschieden sich sowohl der Durchmesser des N. vestibulocochlearis als auch des N. cochlearis signifikant zwischen den Good Performern und Bad Performern. Allerdings gab es auch einen signifikanten Unterschied zwischen dem Alter bei Implantation zwischen den Gruppen. In der Gruppe der Good Performer waren mehr ältere Kinder als in der Gruppe der Bad Performer.

In der genannten Studie (66) zeigte sich eine Korrelation zwischen dem Durchmesser der Hörnerven zwischen der operierten und nicht operierten Seite. In der vorliegenden Studie zeigte sich im durchgeführten Wilcoxon-Test kein signifikanter Unterschied zwischen der rechten und linken Seite der Hörnerven. In diesem Punkt zeigten die beiden Studien ähnliche Ergebnisse.

In der vorliegenden Arbeit wurde außerdem untersucht, ob Unterschiede zwischen den Geschlechtern bezüglich der Hörnervendicken und dem Mittelwert der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase bestanden. Hierbei wurden keine Unterschiede im Hörerfolg und auch keine Unterschiede sowohl des N. vestibulocochlearis als auch des N. cochlearis zwischen Jungen und Mädchen festgestellt. Der N. cochlearis unterschied sich auch in der Literatur nicht signifikant in der Größe bei männlichen und weiblichen Teilnehmern (57, 68-70).

In der Literatur findet sich eine weitere Arbeit, die der vorliegenden ähnlich ist. In der Arbeit von Kim et al. (71) wurde bei Erwachsenen untersucht, ob man den Hörerfolg nach CI-Versorgung mittels Messung des N. cochlearis im MRT einschätzen könne. Allerdings wurden die Hörnerven nicht in axialer Schnittebene gemessen, sondern in sagittaler (71). Anhand des vertikalen und horizontalen Durchmessers wurde die Cross-sectional area, also die Fläche ausgerechnet (71). In ihrer Studie gab es keine signifikante Korrelation zwischen der Größe des N. cochlearis und dem Alter (71), genau wie bei der zuvor genannten Studie von Morita et al. (66). In der vorliegenden Studie korrelierte die Hörnervendicke signifikant mit dem Alter. Dies kann daran liegen, dass in der vorliegenden Studie nur Kinder und keine Erwachsenen untersucht wurden. Das Alter der Kinder in der vorliegenden Studie reichte von 8 Monaten bis 16;01 Jahre bzw. 193 Monate, was bedeutet, dass nur wenige Kinder ausgewachsen waren. Allerdings zeigte eine Studie von Kang et al. (68), dass

## Diskussion

normalhörende Kinder und Erwachsene ähnlich große Nn. Cochleares besitzen, sich das Altern also nicht auf die Größe des N. cochlearis auswirken soll. Die mittlere horizontale Dicke des N. cochlearis betrug in dieser Studie 1,11 mm ( $\pm 0,20$  mm) (68).

Kim et al. (71) untersuchten, ob die Größe des N. cochlearis mit dem postoperativen Erfolg nach CI-Versorgung korreliert. Dazu wurde die lineare Korrelation nach Pearson bestimmt. In der vorliegenden Arbeit wurde im Vergleich dazu die Rangkorrelation nach Spearman bestimmt. Zudem wurde der frühe Hörerfolg etwa 9 Wochen postoperativ als Mittelwert der Lautstärken in dB der Aufblähkurven in der 2. Einstellphase über die fünf Frequenzen 0,25/0,5/1/2/4 kHz gewählt. Kim et al. (71) maßen den Hörerfolg erst 3 Monate postoperativ mittels Sprachverständnistest (71). In der vorliegenden Studie bot sich ein tonaudiometrisches Verfahren aufgrund des jungen Alters der Patienten, die teilweise noch nicht sprechen konnten, eher an. Bei Kim et al. (71) waren die eingeschlossenen Patienten alle Erwachsene, die erst nach Spracherwerb ertaubt waren. In der vorliegenden Studie waren nur Kinder eingeschlossen, von denen ein großer Teil vor dem Spracherwerb ertaubt war. Kim et al. (71) kamen, genau wie die vorliegende Studie, zu dem Ergebnis, dass die Größe des N. cochlearis mit dem postoperativen Erfolg nach CI-Versorgung signifikant korreliert.

In der Literatur finden sich noch weitere Studien, die die Cross-sectional area der Hörnerven im MRT bestimmten. Herman und Angeli (72) stellten in ihrer Studie radiologisch mittels parasagittalen MRT in CISS-Sequenz signifikante Unterschiede zwischen der Fläche des N. cochlearis von postlingual ertaubten und normalhörenden Erwachsenen fest, wobei der Nerv bei Ertaubten kleiner war.

Russo und Manolidis (70) zeigten in ihrer Studie, dass Kinder mit sensorineuraler Hörstörung einen signifikant kleineren N. cochlearis besitzen als normalhörende Kinder. Der Median der Dicke des linken als auch des rechten N. cochlearis des gesamten Patientenkollektivs betrug in der Studie 0,90 mm (70). Sowohl in der Gruppe der Kinder, die jünger als 5 Jahre alt war, als auch der Gruppe der Kinder, die älter als 5 Jahre alt war, betrug der Median 0,90 mm (70). Bei den normalhörenden Kindern lag der Median der Dicke des N. cochlearis bei 1,00 mm (70). Bei den Kindern mit Hörverlust ohne Mutation lag der Median bei 0,88 mm, bei den Kindern mit Hörverlust mit Mutation lag der Median bei 0,90 mm (70). Der gemessene Median der Dicken des N. cochlearis der rechten und linken Seite der

## Diskussion

Kinder in der vorliegenden Studie fiel mit 0,80 mm kleiner aus als bei Russo und Manolidis (70), wobei jeweils auch in unterschiedlicher Weise gemessen wurde.

Die Messungen der Hörnerven in sagittalen Schnitten und die Berechnung der Cross-sectional area ist der Messung in axialen Schnitten vermutlich überlegen, da die Hörnervendicke in 2 Ebenen erfasst wird und nicht nur in einer. In der vorliegenden Arbeit waren unglücklicherweise nur bei wenigen Kindern in den MRT-Aufnahmen Sagittalschnitte vorhanden, da diese nicht standardmäßig im klinischen Alltag angefertigt worden waren. Somit entschied man sich bei der vorliegenden Studie, die axialen Schnitte zur Messung zu verwenden. Unterschiede in den Ergebnissen zwischen der vorliegenden Studie und den anderen Studien lassen sich also durch die verschiedenen Messmethoden erklären.

Aufgrund der oben genannten Ergebnisse, dass der Hörnerv Einfluss auf das Ergebnis nach CI-Versorgung hat, stellt sich die Frage, ob eine CI-Versorgung bei Kindern mit einer Hypoplasie oder Aplasie des N. cochlearis eine CI-Versorgung sinnvoll ist. Es finden sich Studien, die die Ergebnisse von mit CI-versorgten Kindern untersuchten, bei denen in der Bildgebung ein hypoplastischer oder sogar aplastischer Hörnerv vorlag. Sie zeigten, dass die Erfolge nach CI-Versorgung von solchen Kindern sehr unterschiedlich ausfallen (73-76). Ein Anteil an Kindern schafft es jedoch, Zeichen- oder sogar gesprochene Sprache zu erwerben (73), was für Eltern von Kindern mit hypoplastischen oder aplastischen Hörnerven sehr ermutigend sein kann, wenn man nach Behandlungsmöglichkeiten der betroffenen Kinder sucht. Allerdings gilt zu betonen, dass Kinder, deren N. cochlearis im MRT sichtbar, aber defizitär ist, Sprachwahrnehmung und Sprachverstehen nicht in dem Maße entwickeln, in dem es Kinder mit normalen Nn. Cochleares tun (76, 77).

Diese Ergebnisse führen zur Annahme, dass je kleiner sich der N. cochlearis im MRT darstellt, desto schlechter das spätere Ergebnis nach CI-Versorgung ausfällt. Die vorliegende Studie kam genau zu diesem Ergebnis. Die Hörnervendicke der Good Performer war signifikant größer als die der Bad Performer.

Gegenstand von Studien waren nicht nur die Hörnerven, sondern auch die Spiralganglienzellen. Man kam zu dem Ergebnis, dass mit der Dauer der Taubheit die Anzahl an Spiralganglienzellen tendenziell abnimmt (78). Dieses Ergebnis war allerdings nicht signifikant (78). Ein signifikanter Zusammenhang wurde dagegen

## Diskussion

zwischen der Ursache der Taubheit und der Anzahl an Spiralganglienzellen ermittelt (78).

In einer weiteren Studie wurden histologisch bei hochgradig Ertaubten und Normalhörenden die Durchmesser des achten Hirnnervs, des N. cochlearis und des N. vestibularis im inneren Gehörgang an der Stelle gemessen, an der sie den größten Durchmesser zeigten (69). Die gemessenen Durchmesser aller drei Nerven korrelierte signifikant mit der Anzahl an Spiralganglienzellen (69). Ertaubte Menschen hatten eine signifikant geringere Anzahl an Spiralganglienzellen als Normalhörende (69). Dieses Ergebnis verleitet dazu, zu untersuchen, ob nun die im MRT gemessene Dicke des Hörnervs mit dem Outcome nach CI-Versorgung korreliert. Messungen solcher Art könnten einfach im klinischen Alltag durchgeführt werden, da Bildgebungen mittels CT und MRT bei Patienten mit konnataler sensorineuraler Schwerhörigkeit, bei denen eine CI-Versorgung diskutiert wird, standardmäßig durchgeführt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden MRT-Untersuchungen in der CISS-Sequenz verwendet. Ein CT eignet sich vor allem zur Darstellung des Innenohrs und der knöchernen Strukturen und liefert wichtige Informationen für den Operateur (48).

Allerdings kann bei einer im CT regelrechten Cochlea ein aplastischer oder hypoplastischer Nerv vorliegen, sodass empfohlen wird, auch immer zusätzlich ein MRT durchzuführen (52, 70, 79-81). Die Ausbildung des inneren Gehörgang ist abhängig von der Entwicklung und dem Wachstum des achten Hirnnervs und seiner Aufteilungen (82), sodass eine Hypoplasie oder Aplasie des N. vestibulocochlearis zu Fehlbildungen des inneren Gehörgangs führen soll (83-85). Ein MRT stellt besonders gut weiche Gewebe dar und wird deshalb zur Beurteilung des achten Hirnnervs im inneren Gehörgang und seinen Aufteilungen verwendet (48, 53, 54). Gerade in dieser Bildgebung kann man also eher abnormale Strukturen finden, die den Implantationserfolg limitieren können (53). Die 3DFT-CISS-Sequenz ist dabei in der Literatur die empfohlene MRT-Methode der Wahl (55-57). Die vorliegende Studie verwendete somit die empfohlene Bildgebung zur Beurteilung und Messung des N. vestibulocochlearis und N. cochlearis.

In der Literatur finden sich noch zahlreiche andere Studien, die untersuchten, welche Variablen, das Ergebnis nach CI-Versorgung beeinflussen. Der sozioökonomische Status soll sich auf die auditorische und sprachliche Leistung auswirken (45, 86). Ein

## Diskussion

niedriger sozioökonomischer Status soll dabei zu einer langsameren Steigerung der Kommunikationsleistungen führen (45). Weiter negativ auf das Outcome nach CI-Versorgung sollen sich zur Schwerhörigkeit zusätzliche Behinderungen auswirken (45).

Das Alter bei Implantation wird in vielen Studien diskutiert, wobei sich die meisten einig sind, dass sich ein frühes Implantationsalter positiv auf die Entwicklung des Hörens und Sprechens auswirkt (87, 88).

Leider sind die Möglichkeiten, den Erfolg bei Kindern zu evaluieren begrenzt, da bei sehr jung versorgten Kindern, wenn sie noch nicht sprechen können, sprachaudiometrische Verfahren nicht durchführbar sind (28). Eine ungewohnte Umgebung erschwert dabei die Mitarbeit des Kindes. Auch kognitive Fähigkeiten limitieren durchführbare Aufgabenstellungen. Die Mitarbeit kann dadurch schwierig sein und man verlässt sich deshalb oft auf indirekte Messmethoden, wie das Verhalten des Kindes (28). Ein beliebtes Hilfsmittel zur Evaluierung des Hörvermögens und der kommunikativen Fähigkeiten sind Fragebögen, die die Eltern auf der Basis des beobachteten Verhaltens des Kindes ausfüllen, wie z.B. der IT-MAIS oder LittleEARS® (66, 67, 89-91). Die Tonaudiometrie als weiteres zu nennendes Verfahren macht sich die Reaktion des Kindes auf einen Ton zunutze (28).

In einer Arbeit konnte gezeigt werden, dass das auditorische System bei Kindern anfangs noch unreif ist (2). Innerhalb der ersten Jahre finden dann wichtige Entwicklungen statt (3). Die neuronale Plastizität führt dazu, dass auditorische Stimuli zum Knüpfen neuer synaptischer Verbindungen führt (4). Diese sensitive Periode soll etwa 3,5 Jahre andauern und setzt auditorische Erfahrung zum Bilden der Verbindungen im Gehirn voraus (3, 5).

Diskutiert wird in mehreren Arbeiten, welches Alter bei Implantation zu den besten Ergebnissen führt, wobei manche Autoren eine Implantation im zweiten (42, 65, 92, 93) oder dritten Lebensjahr empfehlen (43). Es gibt aber auch Studien, die eine Implantation im ersten Lebensjahr vorschlagen (94-98).

Kinder, die ein CI innerhalb des ersten Lebensjahres erhalten, sollen Sprache schneller entwickeln als später implantierte Kinder (99) und sogar vergleichbar schnell entwickeln wie normalhörende Kinder (100). Kommunikative Fähigkeiten bestehen nicht nur aus Hören und Sprechen, sondern beinhalten auch die Fähigkeit

## Diskussion

zu lesen. In Untersuchungen zeigte sich, dass auch diese Fähigkeit negativ mit dem Alter bei Implantation korreliert (101).

In der vorliegenden Studie lag das mittlere Alter bei Implantation bei 4;01 Jahren bzw. 49 Monaten, der Median lag bei 2;10 Jahren bzw. 34 Monaten. Das jüngste Kind war 8 Monate, das älteste Kind 16;01 Jahre bzw. 193 Monate alt. Es handelte sich in der vorliegenden Studie im Schnitt um frühimplantierte Kinder. Insgesamt waren 4 Kinder im ersten Lebensjahr implantiert worden, 15 Kinder wurden im zweiten Lebensjahr implantiert und 9 Kinder im dritten Lebensjahr. 27 Kinder waren nach dem dritten Lebensjahr implantiert worden.

In der Gruppe der Good Performer lag das mittlere Alter bei Implantation bei 5;04 Jahren bzw. 64 Monaten ( $\pm 48,9$  Monate). In der Gruppe der Bad Performer lag das mittlere Alter bei Implantation bei 2;11 Jahren bzw. 35 Monaten ( $\pm 35,8$  Monate). Es zeigte sich im durchgeführten Mann-Whitney-U-Test ein signifikanter Unterschied ( $p=0,007$ ) in der Verteilung des Alters bei Implantation zwischen der Gruppe der Good Performer und der Gruppe der Bad Performer, wobei die Good Performer eher älter implantierte Kinder enthielt und die Gruppe der Bad Performer die jung implantierten.

Der Messzeitpunkt des postoperativen Hörerfolges war in der vorliegenden Studie im Vergleich zu den oben genannten Studien relativ früh gewählt worden und lag bei nur etwa 9 Wochen postoperativ. Bei den oben genannten Studien wurden meistens die Ergebnisse Monate oder Jahre nach CI-Versorgung bestimmt (42, 43, 88, 93).

Die Bad Performer waren in der vorliegenden Studie zum Messzeitpunkt des Hörerfolges auditiv noch unerfahrener als die Good Performer. Es wäre jedoch möglich, dass die Bad Performer bei einer späteren Überprüfung des Hörerfolges und Zunahme des Höralters besser werden und zu den Good Performer aufschließen. Um dies beurteilen zu können, sind weitere Langzeituntersuchungen dieser beiden Gruppen erforderlich.

Es finden sich einige weitere Studien, die die frühen Ergebnisse nach CI-Versorgung untersuchten (42, 44, 91, 102). In der Studie von Geal-Dor et al. (44) zeigten die mit CI-versorgten Kinder ähnliche Meilensteine in ihrer auditorischen Entwicklung wie Normalhörende. Kinder, die vor dem 24. Lebensmonat versorgt worden waren, erreichten Meilensteine später als Kinder, die zwischen dem 2. und dem 6. Lebensjahr versorgt worden waren (44). Anzunehmen ist, dass die Kinder kognitive



## Diskussion

Fähigkeiten noch nicht entwickelt haben, die für die Aufgaben notwendig sind (44, 91).

Geal-Dor et al. (44) versuchten in ihrer Studie, wie die vorliegende Arbeit, im klinischen Alltag verwendete Testverfahren zu verwenden. In der vorliegenden Studie waren das die Aufblähkurven in der 2. Einstellphase nach CI-Versorgung. Testverfahren, die kein Verstehen voraussetzten, wurden in der genannten Studie signifikant früher erfolgreich gemeistert, als diese, die Verstehen voraussetzten (44).

May-Mederake et al. (91) zeigten in ihrer Arbeit, dass Kinder, die vor dem 12. Lebensmonat mit einem CI versorgt worden waren, anfangs eine langsamere auditorische Entwicklung aufweisen als nach dem 12. Lebensmonat implantierte. Im Verlauf zeigten die später implantierten Kinder jedoch eine langsamere Entwicklung und die jünger implantierten zeigten bessere Ergebnisse (91).

In der oben genannten Studie von Morita et al. (66) unterschieden sich die Ergebnisse der implantierten Kinder erst 12 Monate nach CI-Versorgung. 6 Monate postoperativ waren noch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu sehen (66).

Kishon-Rabin et al. (102) verglichen die Ergebnisse von CI-Kindern mit denen von normalhörenden Kindern. Bezogen auf das Höralter zeigten die CI-versorgten Kinder genauso gute oder sogar bessere Ergebnisse als normalhörende Gleichaltrige (102).

Anderson et al. (42) verglichen die Ergebnisse von Kindern, die vor dem zweiten Lebensjahr implantiert wurden, mit den Ergebnissen von Kindern, die nach dem zweiten Lebensjahr implantiert wurden. Die Auswertungen zeigten, dass die Kinder, die vor dem zweiten Lebensjahr implantiert wurden, präoperativ und postoperativ in einigen Tests schlechter abschnitten als die älter Implantierten (42). Mit CI-Erfahrung zeigten beide Gruppen aber gleiche Ergebnisse, die jünger implantierten Kinder sogar bessere als die später Implantierten (42).

Die Ergebnisse nach CI-Versorgung verbessern sich bei allen implantierten Kindern, egal welchen Alters bei Implantation, mit der Zeit (42). Auch Baumgartner et al. (43) beobachteten, dass die mit CI-versorgten Kinder CI-Erfahrung benötigen, um über ausreichende Sprachwahrnehmung zu verfügen. Interessanterweise gelang es den später implantierten in der Studie die Lücke zwischen ihren und den Ergebnissen von jünger implantierten aufzuholen (43).

Fryauf-Bertschy et al. (41) zeigten, dass die Länge des täglichen Nutzen des CIs signifikant die Sprachwahrnehmung beeinflusst.

## Diskussion

Bei vorhandener Hörerfahrung zeigen die CI-versorgten Kinder schneller Fortschritte (44).

Ahmad et al. (103) verglichen in ihrer Studie Kinder, die postlingual ertaubt waren und ein CI erhalten haben mit Kindern, die prälingual ertaubt waren und versorgt worden waren. Die postlingual ertaubten Kinder zeigten schon 6 Monate nach CI-Versorgung eine signifikante Verbesserung in der Sprachwahrnehmung (103). Kinder, die prälingual ertaubt und mit einem CI-versorgt waren, zeigten erst 24 Monate nach CI-Versorgung eine signifikante Verbesserung im Test (103). Interessanterweise zeigten beide Gruppen ähnliche Ergebnisse 36 Monate nach CI-Versorgung und auch später (103). Dies zeigt, dass die prälingual ertaubten Kinder in der Lage sind, das auditorische Defizit aufzuholen (103).

In mehreren Studien wird diskutiert, ob das residuelle Hörvermögen einen Einfluss auf das frühe Ergebnis nach CI-Versorgung hat (44, 45). Wenn man davon ausgeht, dass später implantierte Kinder ein besseres residuelles Gehör hatten als früh implantierte Kinder, konnte ihnen länger mit einer alternativen Hörhilfe geholfen werden, wodurch ein akustischer Input gegeben war. Dies könnte erklären, wieso später implantierte anfangs schnellere Fortschritte zeigen (45).

Der Einfluss der Hörerfahrung könnte sich auch in der vorliegenden Studie widerspiegeln. Die Gruppe der Good Performer war im Durchschnitt älter als die Gruppe der Bad Performer und hatte ein höheres Höralter. Wenn man davon ausgeht, dass die Good Performer schon mehr akustische Erfahrungen gesammelt und auditorische Verarbeitungsprozesse vor Implantation geleistet hatten, dann könnte dies die besseren frühen Ergebnisse nach CI-Versorgung erklären.

Weiterhin zu diskutieren gilt, dass in dieser Arbeit eine Korrelation zwischen dem Alter bei Bildgebung und der Hörnervendicke vorlag, in den hier diskutierten Studie allerdings keine Korrelation zwischen dem Alter bei Bildgebung und der Hörnervendicke gezeigt werden konnte (66, 68, 71). Außerdem hatten in dieser Arbeit die Good Performer einen signifikant dickeren Hörnerv als die Bad Performer. Nun ist die Frage zu klären, aus welchem Grund die Good Performer wohl einen dickeren Hörnerv hatten als die Bad Performer.

In der hier diskutierten Literatur konnte gezeigt werden, dass Ertaubte dünnere Hörnerven besitzen als Normalhörende (70, 72). Kim et al. (71) fanden in ihrer Studie heraus, dass die Dicke des N. cochlearis mit Dauer der Ertaubung abnahm. Das

## Diskussion

könnte bedeuten, dass die fehlende akustische Stimulation zu einer Abnahme der Dicke der Hörnerven führt. Dass die Gruppe der Good Performer signifikant dickere Hörnerven besaß, könnte also daran liegen, dass sie auch ein signifikant höheres Höralter, und somit mehr Hörerfahrung besaßen und mehr akustische Stimulation erfahren hatten als die Bad Performer.

In den hier diskutierten Studien konnte außerdem gezeigt werden, dass die Hörerfahrung zu einem besseren Hörerfolg mit CI führt (41-45). Aufgrund dieses Ergebnisses könnte man annehmen, dass die dickeren Hörnerven und der bessere Hörerfolg der Good Performer durch akustische Stimulation und somit mehr Hörerfahrung bedingt waren. Demnach könnte die präoperative Messung eines dicken Hörnervs indirekt ein positiver Einflussfaktor für den Erfolg nach CI-Versorgung bei Kindern darstellen, wenn man annimmt, dass eine Korrelation zwischen der Hörnervendicke und dem Höralter besteht.

Nun zeigt sich das Alter bei Implantation als starker Einflussfaktor auf den Erfolg nach CI-Versorgung bei Kindern. In der Regel treffen die Eltern die Entscheidung einer Implantation für ihre Kinder. Diese Entscheidung soll wohl überlegt sein und die Eltern müssen Risiko und Nutzen des Eingriffs abwägen. Vor allem bei sehr jungen Kindern ist das operative Risiko Bestand der Überlegungen. In der vorliegenden Studie waren 4 Kinder im ersten Lebensjahr implantiert worden und 15 Kinder im zweiten Lebensjahr. Valencia et al. (94) untersuchten das Risiko der CI-Operation bei Kindern unter 12 Monaten. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Operation sicher sei bei Kindern ab dem 7. Lebensmonat (94). Die Bedingung dafür ist jedoch, dass keine weiteren Komorbiditäten vorliegen, die das Anästhesierisiko erhöhen würden (94).

In der Literatur wird ebenfalls diskutiert, ob bei binauraler Taubheit eine bilaterale CI-Versorgung erfolgen sollte. Garcia et al. (104) verglichen die Ergebnisse von unilateral implantierten Kindern und bilateral implantierten Kindern. Sie stellten fest, dass die bilateral implantierten Kinder signifikant bessere Ergebnisse nach zwei bis drei Jahren nach Implantation zeigten (104). Ob die Kinder simultan oder in zeitlichem Abstand die CIs erhalten hatten, führte in dieser Studie zu keinem Unterschied (104).

## Diskussion

In der Arbeit von Tait et al. (105) zeigten bilateral implantierte Kinder bereits nach 12 Monaten CI-Erfahrung bessere Ergebnisse als unilateral implantierte.

Geal-Dor et al. (44) beschrieben in ihrer Studie, dass Kinder mit einem zweiten CI schneller Fortschritte erreichen als nur mit einem CI. Hier zeigt sich wieder der Vorteil der Hörerfahrung auf kommunikative Fähigkeiten (44).

Wenn man bedenkt, dass Hörerfahrung zu besseren Ergebnissen bei CI-versorgten Kindern führt, stellt man sich die Frage, ob auditorisches Training auch zu besseren Fähigkeiten führen kann. Eine Arbeit von Roman et al. (106) untersuchte bei 4- bis 10-jährigen Kindern genau diese Frage. Es zeigte sich, dass sich die Kinder durch Training signifikant verbesserten (106). Zusätzlich wurde in dieser Studie auch der Vorteil der frühen Implantation beobachtet (106). Jüngere Patienten profitierten mehr als ältere Kinder (106). Demnach wäre es möglich, dass die jünger implantierten Bad Performer nach intensivem Training und mit mehr Hörerfahrung bei einer späteren Überprüfung des Hörerfolgs ihre Hörleistung verbessern und zu den Good Performern aufschließen könnten bzw. selbst zur Gruppe der Good Performer gehören könnten. Um dies beurteilen zu können, sind weitere Langzeituntersuchungen erforderlich.

## **6 Zusammenfassung**

Das CI hat sich als geeignete Therapie der sensorineuralen Schwerhörigkeit, insbesondere bei Kindern, etabliert. Um die Eltern vor Implantation besser beraten zu können und nach Implantation die bestmögliche Förderung der Kinder zu erreichen, wäre es von großem Interesse zu wissen, welche Faktoren den Erfolg nach CI-Versorgung beeinflussen.

Diese Studie untersuchte die Hörnervendicken von 55 Kindern (110 Ohren, 110 Nn. vestibulocochleares, 110 Nn. cochleares) und untersuchte dann die Korrelation zwischen diesen und dem frühen Hörerfolg. Die 55 Kinder hatten alle ein CI an der Universitätsmedizin Mainz zwischen den Jahren 2010 und einschließlich 2015 erhalten. Außer den Hörnervendicken wurden weitere Parameter, wie z.B. das Alter bei Implantation und das Höralter, erfasst. Es zeigten sich signifikante Korrelationen zwischen dem frühen Hörerfolg und der Dicke des N. vestibulocochlearis sowie der Dicke des N. cochlearis des erstimplantierten Ohres. Außerdem bestanden signifikante Korrelationen zwischen dem frühen Hörerfolg und dem Alter bei Implantation sowie dem Höralter.

Anhand des frühen Hörerfolges wurde das Patientenkollektiv in zwei Gruppen eingeteilt, den Good Performern und den Bad Performer. Die Good Performer hatten dabei einen signifikant dickeren N. vestibulocochlearis und N. cochlearis als die Bad Performer. Zusätzlich waren die Kinder in der Gruppe der Good Performer zu einem signifikant späteren Lebenszeitpunkt mit einem CI versorgt worden und hatten ein höheres Höralter als die Gruppe der Bad Performer.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit deckten sich teilweise mit den Ergebnissen anderer Studien auf diesem Gebiet. Die Hörnervendicke stellte sich in dieser Studie als möglicher Einflussfaktor für den Hörerfolg nach CI-Versorgung dar. Allerdings deckte sich dieses Ergebnis nicht eindeutig mit den Ergebnissen in der Literatur.

Ein Einflussfaktor, der sich allerdings sowohl in dieser Studie als auch in der Literatur gezeigt hat, ist der Zusammenhang zwischen der Hörerfahrung und dem Hörerfolg mit einem CI. Insgesamt zu beachten ist aber, dass der Erfolg nicht nur von einem Faktor abhängig ist, sondern dass es viele Faktoren gibt, die den Hörerfolg mit einem CI beeinflussen. Dabei wirken sowohl angeborene oder nicht zu ändernde Faktoren ein als auch Faktoren, die sich ändern lassen.

Da in der präoperativen Diagnostik in der Regel ein MRT Schädel durchgeführt wird, um zu sehen, ob und welche Pathologien vorliegen, könnte man diese Bildgebung

## Zusammenfassung

zusätzlich dazu nutzen, um zu sehen, ob das Kind einen besonders dicken Hörnerv aufweist. Dabei könnte man den Eltern in der Beratung sagen, dass ihr Kind anatomisch sehr gute Voraussetzungen für die CI-Versorgung mitbringt. Allerdings ist zu betonen, dass man Eltern, deren Kind einen dünneren Hörnerv im MRT zeigt, nicht deshalb von einer CI-Versorgung abraten würde. Es gibt noch viele weitere Faktoren, die das Kind mitbringen kann, die zu einem guten Erfolg führen können.

Um aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten, wäre eine Untersuchung mit einem homogeneren Patientenkollektiv, insbesondere im Hinblick auf das Alter bei Implantation und das Höralter, durchzuführen. Zudem wäre eine Messung der Hörnervendicke in zwei Ebenen sowie die Berechnung der Fläche daraus eine vermutlich geeignetere Methode. Interessant wäre zu sehen, ob und wann sich die Ergebnisse, die in dieser Arbeit ermittelt wurden im Laufe der Zeit bzw. Entwicklung des Kindes ändern. Langzeitergebnisse sind von größerer Bedeutung als frühe Ergebnisse. Bei älteren Kindern wäre zudem auch das Durchführen weiterer pädaudiologischer und logopädischer Tests zur Evaluation des Erfolges mit dem CI möglich.

Zusammenfassend kann man sagen, dass diese Arbeit zeigen konnte, dass mehrere Faktoren den Gewinn mit einem CI beeinflussen. Die anatomischen Voraussetzungen, die das Kind mitbringt, könnten einen positiven Einfluss auf den Gewinn haben. Falls die anatomischen Voraussetzungen gut sind, könnte man das in der Beratung der Eltern nutzen, um sie in ihrer Entscheidung zu bestärken. Falls die anatomischen Voraussetzungen des Kindes allerdings nicht so gut sind, ist zu beachten, dass auch noch weitere Faktoren positiven Einfluss haben können. Eine geringe Hörnervendicke allein sollte keine Kontraindikation einer CI-Versorgung darstellen. Eine gute Beratung der Eltern liegt darin, den Eltern mögliche Einflussfaktoren mitzuteilen und zu versuchen, das Kind bestmöglich zu fördern, um die bestmöglichen Entwicklungschancen für das Kind zu erhalten.

**7 Anhang****Tabelle 8:** Übersicht über das Alter bei Bildgebung, das Alter bei Implantation und das Höralter.

	Alter bei Bildgebung		Alter bei Implantation		Höralter	
	Monate	Jahre	Monate	Jahre	Monate	Jahre
Mittelwert	46	3;10	49	4;01	30	2;06
SD	44,4		44,7		40,3	
Median	34	2;10	34	2;10	14	1;02
Minimum	5		8		2	
Maximum	191	15;11	193	16;01	181	15;01
25. Perzentile	15	1;03	18	1;06	7	
75. Perzentile	60	5;00	63	5;03	33	2;09

**Tabelle 9:** Übersicht über die Nervendicken nach Geschlecht.

	d <sub>NVC-M</sub>	d <sub>NC-M</sub>	d <sub>NVC-W</sub>	d <sub>NC-W</sub>
Mittelwert	1,25 mm	0,82 mm	1,21 mm	0,79 mm
SD	0,20 mm	0,12 mm	0,18 mm	0,10 mm
Median	1,25 mm	0,81 mm	1,22 mm	0,78 mm
Minimum	0,91 mm	0,61 mm	0,83 mm	0,60 mm
Maximum	1,58 mm	1,00 mm	1,50 mm	1,03 mm

**Tabelle 10:** Übersicht über die MW<sub>ABK</sub> des gesamten Patientenkollektivs, sowie in den Gruppen und nach Geschlecht.

	MW <sub>ABK</sub> (in dB)	MW <sub>ABK-GP</sub> (in dB)	MW <sub>ABK-BP</sub> (in dB)	MW <sub>ABK-M</sub> (in dB)	MW <sub>ABK-W</sub> (in dB)
Mittelwert	46	35	56,7	48,3	43,3
SD	13,7	4,2	10,7	15	11,5
Median	42	35	54,5	46,5	40
Minimum	26	26	42	28	26
Maximum	85	41	85	85	62

**Tabelle 11:** Übersicht über das Alter bei Bildgebung, das Höralter und das Alter bei Implantation in den Gruppen.

	GP Alter bei Bildgebung		BP Alter bei Bildgebung		GP Höralter		BP Höralter		GP Alter bei Implantation		BP Alter bei Implantation	
	Monate	Jahre	Monate	Jahre	Monate	Jahre	Monate	Jahre	Monate	Jahre	Monate	Jahre
Mittelwert	60	5;00	32	2;08	42	3;06	18	1;06	64	5;04	35	2;11
SD	48,3		35,8		43,8		33,3		48,9		35,8	
Median	54	4;06	18	1;06	29	2;05	10		57	4;09	23	1;11
Minimum	6		5		2		2		8		8	
Maximum	191	15;11	185	15;05	177	14;09	181	15;01	193	16;01	187	15;07
25. Perzentile	33	2;09	11		9		6		34	2;10	16	1;04
75. Perzentile	78	6;06	45	3;09	62	5;02	17	1;05	90	7;06	46	3;10



Anhang

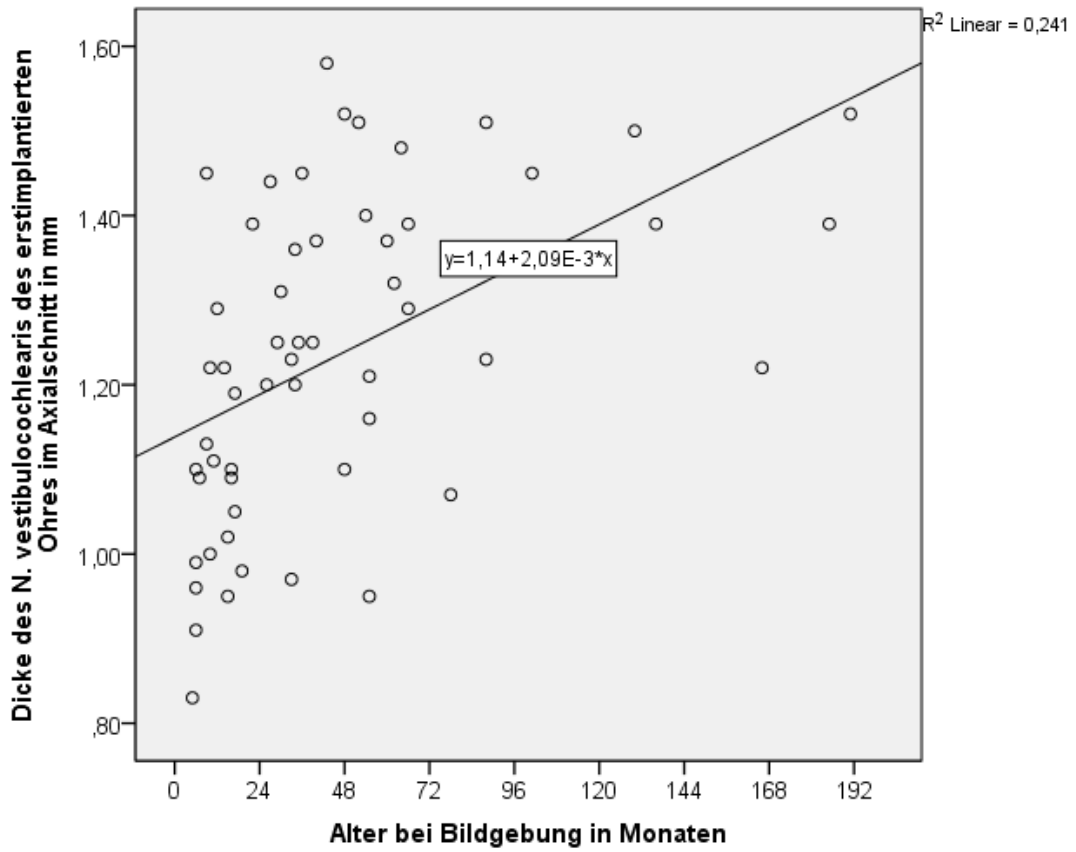


Abbildung 30: Streudiagramm: Korrelation des  $d_{NVC}$  mit dem Alter bei Bildgebung.

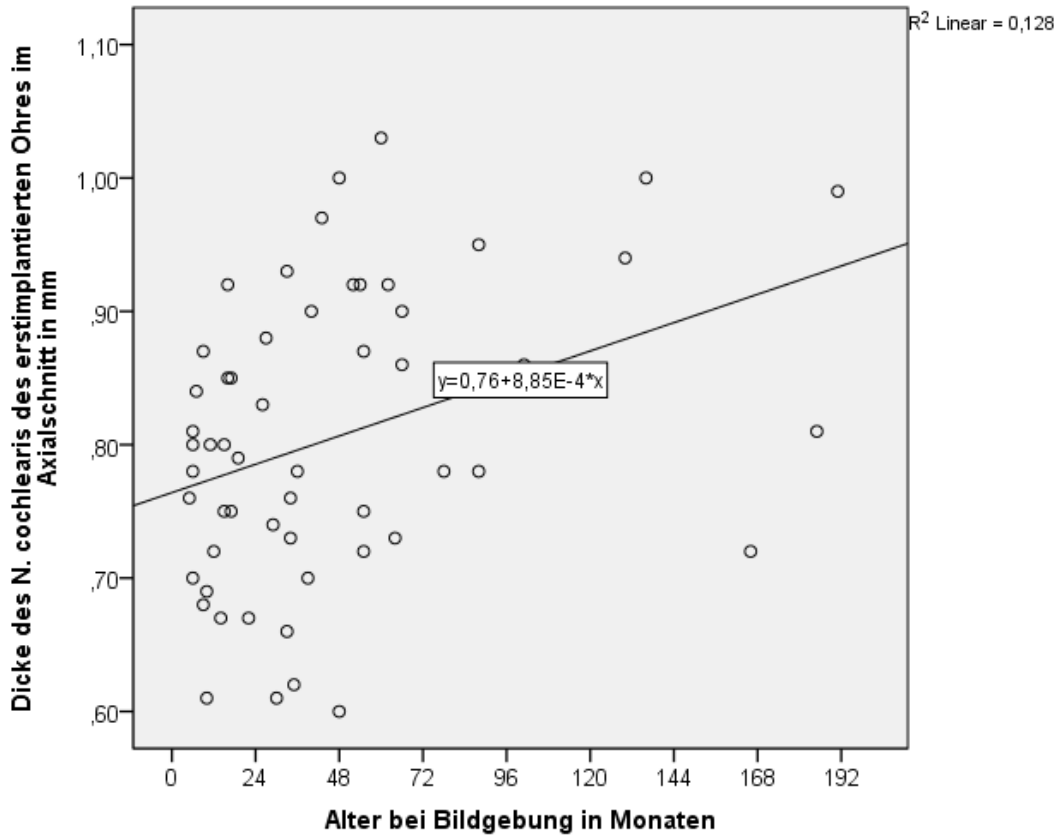


Abbildung 31: Streudiagramm: Korrelation des  $d_{NC}$  mit dem Alter bei Bildgebung.

Anhang

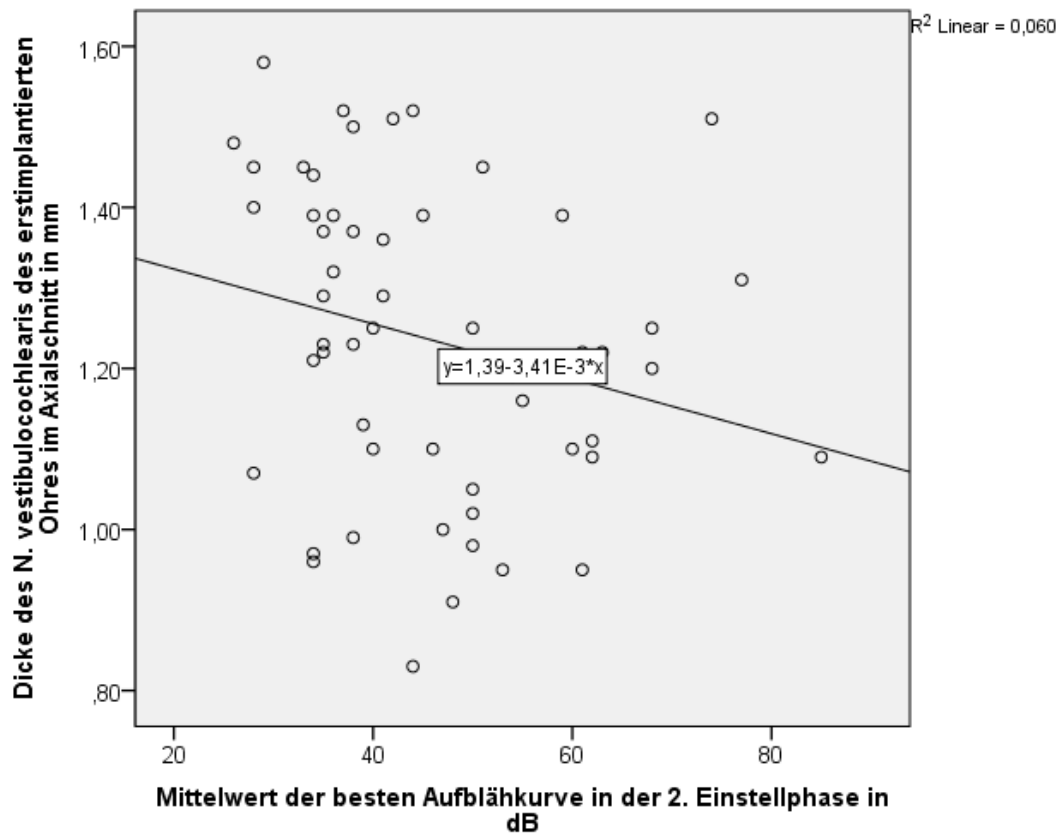


Abbildung 32: Streudiagramm: Korrelation des  $d_{NVC}$  mit dem  $MW_{ABK}$ .

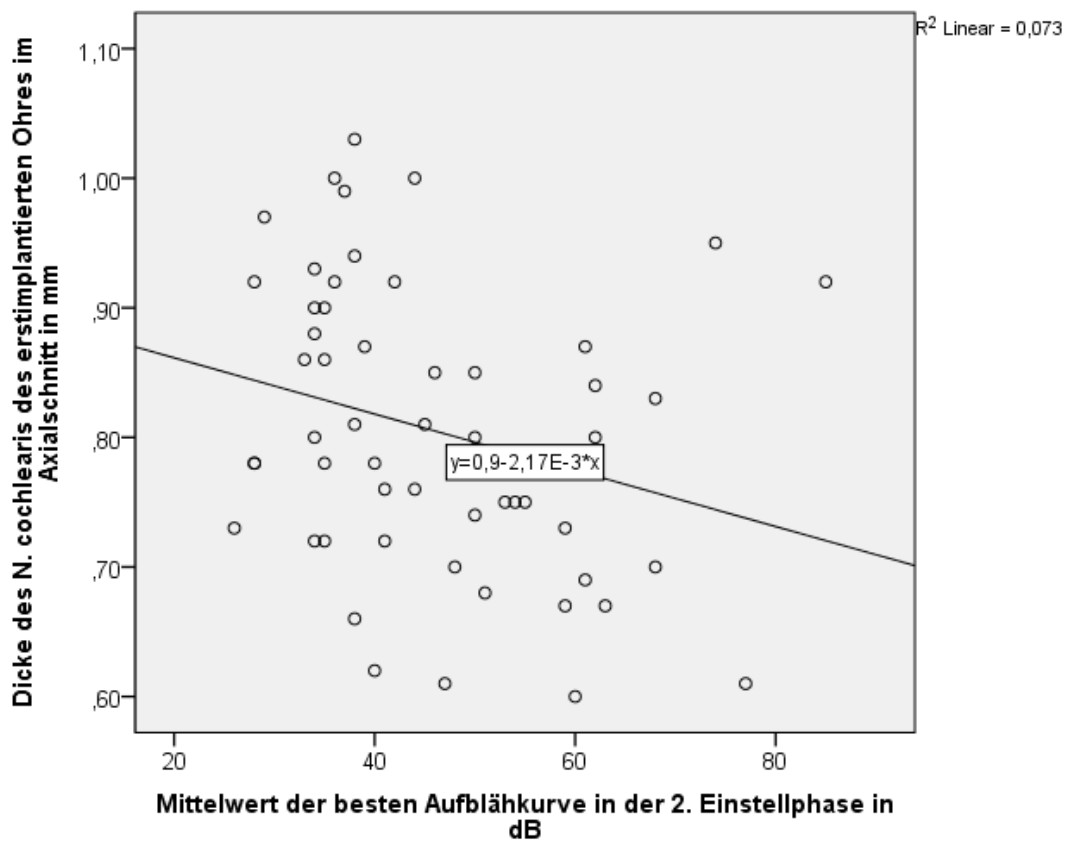


Abbildung 33: Streudiagramm: Korrelation des  $d_{NC}$  mit dem  $MW_{ABK}$ .

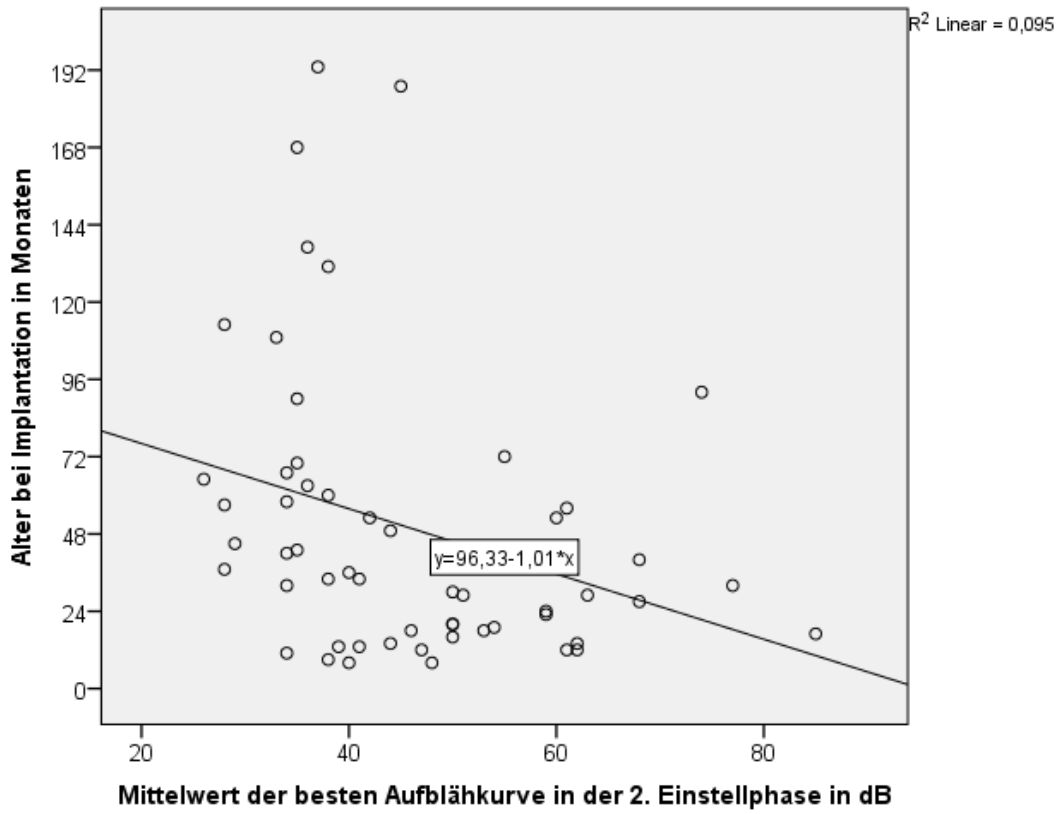


Abbildung 34: Streudiagramm: Korrelation des Alter bei Implantation mit dem  $MW_{ABK}$ .

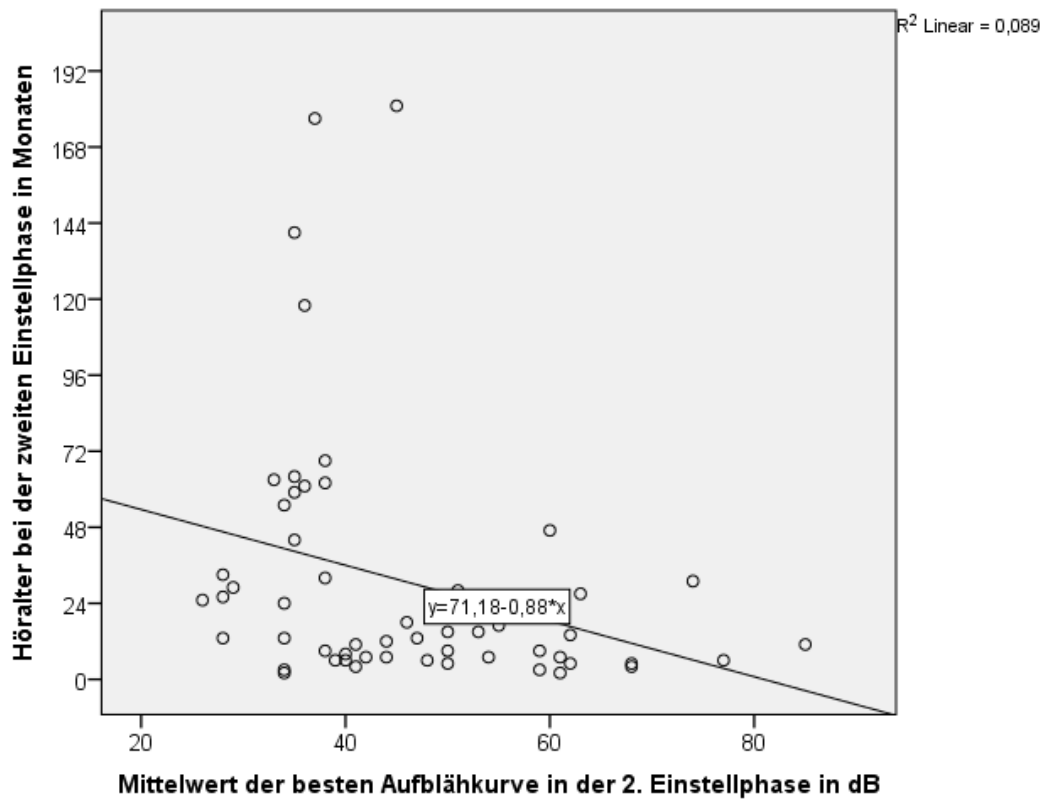


Abbildung 35: Streudiagramm: Korrelation des Höralters mit dem  $MW_{ABK}$ .

## Anhang

**Tabellen 12:** Explorative Analyse: Unterschiede der  $d_{NVC}$  und  $d_{NC}$  zwischen den Geschlechtern.

### a) Ränge

	Geschlecht	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
$d_{NVC}$	Männlich	30	29,53	886,00
	Weiblich	25	26,16	654,00
	Gesamt	55		
$d_{NC}$	Männlich	30	29,60	888,00
	Weiblich	25	26,08	652,00
	Gesamt	55		

### b) Statistik für Test<sup>a</sup>

	$d_{NVC}$	$d_{NC}$
Mann-Whitney-U	329,000	327,000
Wilcoxon-W	654,000	652,000
Z	-,778	-,812
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,437	,417

a. Gruppenvariable: Geschlecht

Anhang

**Tabellen 13:** Explorative Analyse: Unterschiede zwischen dem N. vestibulocochlearis bzw. dem N. cochlearis der rechten und der linken Seite.

a) Ränge

		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
d <sub>NVC links</sub> – d <sub>NVC rechts</sub>	Negative Ränge	25 <sup>a</sup>	26,08	652,00
	Positive Ränge	28 <sup>b</sup>	27,82	779,00
	Bindungen	2 <sup>c</sup>		
	Gesamt	55		
d <sub>NC links</sub> – d <sub>NC rechts</sub>	Negative Ränge	18 <sup>d</sup>	28,97	521,50
	Positive Ränge	34 <sup>e</sup>	25,19	856,50
	Bindungen	3 <sup>f</sup>		
	Gesamt	55		

a. d<sub>NVC links</sub> < d<sub>NVC rechts</sub>

b. d<sub>NVC links</sub> > d<sub>NVC rechts</sub>

c. d<sub>NVC links</sub> = d<sub>NVC rechts</sub>

d. d<sub>NC links</sub> < d<sub>NC rechts</sub>

e. d<sub>NC links</sub> > d<sub>NC rechts</sub>

f. d<sub>NC links</sub> = d<sub>NC rechts</sub>

b) Statistik für Test<sup>a</sup>

	d <sub>NVC links</sub> – d <sub>NVC rechts</sub>	d <sub>NC links</sub> – d <sub>NC rechts</sub>
Z	-,562 <sup>b</sup>	-1,527 <sup>b</sup>
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,574	,127

a. Wilcoxon-Test

b. Basiert auf negativen Rängen

Anhang

**Tabellen 14:** Explorative Analyse: Unterschiede der  $d_{NVC}$  bzw.  $d_{NC}$  zwischen den Gruppen.

a) Ränge

	Performergruppe	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
$d_{NVC}$	Good Performer	27	33,13	894,50
	Bad Performer	28	23,05	645,50
	Gesamt	55		
$d_{NC}$	Good Performer	27	32,72	883,50
	Bad Performer	28	23,45	656,50
	Gesamt	55		

b) Statistik für Test<sup>a</sup>

	$d_{NVC}$	$d_{NC}$
Mann-Whitney-U	239,50 0	250,50 0
Wilcoxon-W	645,50 0	656,50 0
Z	-2,333	-2,148
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,020	,032

a. Gruppenvariable: Performergruppe

**Tabellen 15:** Explorative Analyse: Unterschiede des Zeitpunktes der CI-Versorgung zwischen den Good Performern und den Bad Performern.

a) Ränge

	Performergruppe	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Alter bei Implantation	Good Performer	27	33,89	915,00
	Bad Performer	28	22,32	625,00
	Gesamt	55		

Anhang

b) Statistik für Test<sup>a</sup>

	Alter bei Implantation in Monaten
Mann-Whitney-U	219,000
Wilcoxon-W	625,000
Z	-2,678
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,007

a. Gruppenvariable: Performergruppe

**Tabellen 16:** Explorative Analyse: Unterschiede des Höralters bei der 2. Einstellphase zwischen den Good Performern und den Bad Performern.

a) Ränge

	Performergruppe	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Höralter bei der 2. Einstellphase in Monaten	Good Performer	27	33,74	911,00
	Bad Performer	28	22,46	629,00
	Gesamt	55		

b) Statistik für Test<sup>a</sup>

	Höralter bei der 2. Einstellphase in Monaten
Mann-Whitney-U	223,000
Wilcoxon-W	629,000
Z	-2,611
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,009

a. Gruppenvariable: Performergruppe

## 8 Literaturverzeichnis

1. Clark GM, Clark JC, Furness JB. The evolving science of cochlear implants. *Jama*. 2013;310(12):1225-6.
2. Sharma A, Kraus N, McGee TJ, Nicol TG. Developmental changes in P1 and N1 central auditory responses elicited by consonant-vowel syllables. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 1997;104(6):540-5.
3. Sharma A, Dorman MF, Spahr AJ. A sensitive period for the development of the central auditory system in children with cochlear implants: implications for age of implantation. *Ear and hearing*. 2002;23(6):532-9.
4. Sharma A, Dorman MF, Kral A. The influence of a sensitive period on central auditory development in children with unilateral and bilateral cochlear implants. *Hearing research*. 2005;203(1-2):134-43.
5. Sharma A, Gilley PM, Dorman MF, Baldwin R. Deprivation-induced cortical reorganization in children with cochlear implants. *International journal of audiology*. 2007;46(9):494-9.
6. McConkey Robbins A, Koch DB, Osberger MJ, Zimmerman-Phillips S, Kishon-Rabin L. Effect of age at cochlear implantation on auditory skill development in infants and toddlers. *Archives of otolaryngology-head & neck surgery*. 2004;130(5):570-4.
7. Lenarz T, Boenninghaus H-G. *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*. 14., überarbeitete Auflage ed. Berlin, Heidelberg 2012.
8. Goutman JD, Elgoyhen AB, Gómez-Casati ME. Cochlear hair cells: The sound-sensing machines. *FEBS letters*. 2015;589(22):3354-61.
9. Hinghofer-Szalkay H. *Physiologie des Hörorgans, Audiometrie* [14.01.2021]. Available from: <http://physiologie.cc/XIV.7.htm>.
10. Seifert E, Brosch S, Dinnesen AG, Keilmann A, Neuschaefer-Rube C, Goldschmidt O, et al. Periphere Hörstörungen im Kindesalter. *HNO*. 2005;53(4):376-82.
11. Zahnert T. Differenzialdiagnose der Schwerhörigkeit. *Dtsch Arztebl International*. 2011;108(25):433-44.
12. Moser T, Strenzke N, Meyer A, Lesinski-Schiedat A, Lenarz T, Beutner D, et al. Diagnostik und Therapie der auditorischen Synaptopathie/Neuropathie. *HNO*. 2006;54(11):833-41.
13. Zahnert T. Schwerhörigkeit – Ätiologie, Diagnostik und auditive Rehabilitation. *Laryngo-Rhino-Otologie*. 2010;89(11):669-93.
14. Keilmann A, Läßig AK, Nospes S. Symptome und Diagnosestellung auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen. *HNO*. 2013;61(8):707-18.
15. Schmidt C-M, am Zehnhoff-Dinnesen A, Deuster D. Nichtorganische (funktionelle) Hörstörungen bei Kindern. *HNO*. 2013;61(2):136-41.
16. Böhme G. Nichtorganische (funktionelle) Hörstörungen im Kindesalter. *Laryngologie, Rhinologie, Otologie und ihre Grenzgebiete*. 1984;63(03):147-50.



## Literaturverzeichnis

17. Görg M, Läßig AK. Psychogene Hörstörungen im Erwachsenenalter. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. 33. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP). Regensburg, 22.-25.09.2016. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2016. DocV44; 2016 [14.01.2021]. Available from: <https://www.egms.de/static/de/meetings/dgpp2016/16dgpp65.shtml>.
18. Läßig AK, Kettern L, Bohnert A. Qualitätssicherung in der Hörgeräteversorgung bei Kindern – eine interdisziplinäre Herausforderung bei funktionellen Schwerhörigkeiten. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. Sektion Phoniatrie der Österreichischen Gesellschaft für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie. Schweizerische Gesellschaft für Phoniatrie. 4. Dreiländertagung D-A-CH, 35. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP). Innsbruck, Österreich, 20.-23.09.2018. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2018. DocP16; 2018 [14.01.2021]. Available from: <https://www.egms.de/static/en/meetings/dgpp2018/18dgpp45.shtml>.
19. Läßig AK, Keilmann A. Funktionelle (psychogene) Hörstörung im Kindesalter – Kolibri oder unterschätztes Phänomen? Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. 27. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP). Aachen, 17.-19.09.2010. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2010. Doc10dgppV08; 2010 [14.01.2021]. Available from: <https://www.egms.de/static/en/meetings/dgpp2010/10dgpp11.shtml>.
20. Gross M, Lange K, Spormann-Lagodzinski M. Angeborene Erkrankungen des Hörvermögens bei Kindern Teil 2: Genetische Hörstörungen. HNO. 2001;49(8):602-17.
21. Haffey T, Fowler N, Anne S. Evaluation of unilateral sensorineural hearing loss in the pediatric patient. International journal of pediatric otorhinolaryngology. 2013;77(6):955-8.
22. Swanepoel D. Auditory pathology in cri-du-chat (5p-) syndrome: phenotypic evidence for auditory neuropathy. Clinical genetics. 2007;72(4):369-73.
23. Hasi-Zogaj M, Sebold C, Heard P, Carter E, Soileau B, Hill A, et al., editors. A review of 18p deletions. American Journal of Medical Genetics Part C: Seminars in Medical Genetics; 2015: Wiley Online Library.
24. Gross M, Finck-Krämer U, Spormann-Lagodzinski M. Angeborene Erkrankungen des Hörvermögens bei Kindern Teil 1: Erworbene Hörstörungen. HNO. 2000;48(12):879-86.
25. Martin E, Kettern L, Döge J, Läßig A. Progrediente, einseitige Hörstörung im frühen Kindesalter bei einseitigem Large vestibular aqueduct syndrome – eine pädaudiologische Herausforderung! Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. Sektion Phoniatrie der Österreichischen Gesellschaft für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie. Schweizerische Gesellschaft für Phoniatrie. 4. Dreiländertagung D-A-CH, 35. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP). Innsbruck, Österreich, 20.-23.09.2018. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2018. DocV31; 2018 [14.01.2021]. Available from: <https://www.egms.de/static/en/meetings/dgpp2018/18dgpp44.shtml>.
26. Franck, C., Vorwerk ,W., Köhn, A., Reißmann, A., Vorwerk, U. Die Prävalenz von Hörstörungen bei Frühgeborenen in Sachsen-Anhalt und deren pädaudiologische Diagnostik: Ärzteblatt Sachsen-Anhalt; 12/2014 [14.01.2021]. Available from: <https://www.aerzteblatt->

## Literaturverzeichnis

sachsen-anhalt.de/ausgabe/fachartikel/204-fachartikel-12-2014/862-praevalenz-von-hoerstoerungen-bei-fruehgeborenen.html.

27. Year 2007 position statement: Principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs. *Pediatrics*. 2007;120(4):898-921.
28. Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie e.V.: Periphere Hörstörungen im Kindesalter 09/2013 [14.01.2021]. Available from: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/049-010l\\_S2k\\_Periphere\\_Hoerstoerungen\\_im\\_Kindesalter\\_2013-09\\_abgelaufen.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/049-010l_S2k_Periphere_Hoerstoerungen_im_Kindesalter_2013-09_abgelaufen.pdf).
29. Läßig AK, Kettern L, Kugelstadt S, Bohnert A. Hörgeräteversorgung im Kindesalter. *HNO*. 2018;66(10):783-96.
30. Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V.: Cochlea-Implantat Versorgung 10/2020 [14.01.2021]. Available from: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/017-071l\\_S2k\\_Cochlea-Implantat-Versorgung-zentral-auditorische-Implantate\\_2020-12.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/017-071l_S2k_Cochlea-Implantat-Versorgung-zentral-auditorische-Implantate_2020-12.pdf).
31. Nospes S, Bohnert A, Läßig A, Stuppert L, Rader T. Die Wideband-Tympanometrie (WBT) in der Pädaudiologie: Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. Sektion Phoniatrie der Österreichischen Gesellschaft für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie. Schweizerische Gesellschaft für Phoniatrie. 4. Dreiländertagung D-A-CH, 35. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP). Innsbruck, Österreich, 20.-23.09.2018. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2018. DocV26; 2018 [14.01.2021]. Available from: <https://www.egms.de/static/en/meetings/dgpp2018/18dgpp36.shtml>.
32. Schade G, Fauser H-A, Fleischer S, Breitfuss A, Schiller R, Müller F, et al. 1000Hz-versus 226Hz-Tympanometrie - Welche Methode ist hilfreicher? : 100 Jahre Phoniatrie in Deutschland. 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie, 24. Kongress der Union der Europäischen Phoniater. Berlin, 16.-18.09.2005. Düsseldorf, Köln: German Medical Science; 2005. Doc05dgppV20; 2005 [14.01.2021]. Available from: <http://www.egms.de/en/meetings/dgpp2005/05dgpp025.shtml>.
33. Limberger A, Bohnert A, Lippert K-L, Keilmann A. Hochfrequenztympnometrie in neuem Licht: Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. 23. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. Heidelberg, 15.-17.09.2006. Düsseldorf, Köln: German Medical Science; 2006. Doc06dgppV35; 2006 [14.01.2021]. Available from: <http://www.egms.de/en/meetings/dgpp2006/06dgpp53.shtml>.
34. Czerny C, Franz P, Imhof H. Computertomographie und Magnetresonanztomographie des normalen Schläfenbeines. *Der Radiologe*. 2003;43(3):200-6.
35. Greess H, Baum U, Römer W, Tomandl B, Bautz W. CT und MRT des Felsenbeins. *HNO*. 2002;50(10):906-19.
36. Choo DI, Tawfik KO, Martin DM, Raphael Y. Inner ear manifestations in CHARGE: Abnormalities, treatments, animal models, and progress toward treatments in auditory and vestibular structures. *American journal of medical genetics Part C, Seminars in medical genetics*. 2017;175(4):439-49.

## Literaturverzeichnis

37. Praxis der Audiometrie: 8 Tabellen. 9., vollst. überarb. Aufl. ed. Lehnhardt E, editor. Stuttgart u.a. 2009.
38. Mlynski R, Plontke S. Cochleaimplantatversorgung bei Kindern und Jugendlichen. HNO. 2013;61(5):388-98.
39. Zahnert T, Mürbe D. Kochleaimplantatversorgung von Kindern und Erwachsenen. Laryngo-Rhino-Otologie. 2017;96(06):396-419.
40. Kuthubutheen J, Hedne C, Krishnaswamy J, Rajan GP. A case series of paediatric hearing preservation cochlear implantation: a new treatment modality for children with drug-induced or congenital partial deafness. Audiology and Neurotology. 2012;17(5):321-30.
41. Fryauf-Bertschy H, Tyler RS, Kelsay DM, Gantz BJ, Woodworth GG. Cochlear implant use by prelingually deafened children: the influences of age at implant and length of device use. Journal of speech, language, and hearing research: JSLHR. 1997;40(1):183-99.
42. Anderson I, Weichbold V, D'Haese PS, Szuchnik J, Quevedo MS, Martin J, et al. Cochlear implantation in children under the age of two--what do the outcomes show us? International journal of pediatric otorhinolaryngology. 2004;68(4):425-31.
43. Baumgartner WD, Pok SM, Egelierler B, Franz P, Gstoettner W, Hamzavi J. The role of age in pediatric cochlear implantation. International journal of pediatric otorhinolaryngology. 2002;62(3):223-8.
44. Geal-Dor M, Tranovsky Y, Boudilovsky E, Adelman C, Adler M, Levi H. Acquisition of early auditory milestones with a cochlear implant. International journal of pediatric otorhinolaryngology. 2013;77(11):1852-5.
45. Gerard JM, Deggouj N, Hupin C, Buisson AL, Monteyne V, Lavis C, et al. Evolution of communication abilities after cochlear implantation in prelingually deaf children. International journal of pediatric otorhinolaryngology. 2010;74(6):642-8.
46. Limberger A. Frequenzerniedrigung – wie viel Höhen braucht das Kind? Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. 30. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP). Bochum, 20.-22.09.2013. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2013. DocHV13; 2013 [14.01.2021]. Available from: <https://www.egms.de/static/en/meetings/dgpp2013/13dgpp79.shtml>.
47. Wong K, Kozin ED, Kanumuri VV, Vachicouras N, Miller J, Lacour S, et al. Auditory Brainstem Implants: Recent Progress and Future Perspectives. Frontiers in neuroscience. 2019;13:10.
48. Westerhof JP, Rademaker J, Weber BP, Becker H. Congenital malformations of the inner ear and the vestibulocochlear nerve in children with sensorineural hearing loss: evaluation with CT and MRI. Journal of computer assisted tomography. 2001;25(5):719-26.
49. Seitz J, Held P, Waldeck A, Völk M, Lenhart M, Strotzer M, editors. 3D CISS, 3D MP-RAGE und 2D TSE für die präoperative MRT vor Cochlea Implant. RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren; 2000: Georg Thieme Verlag Stuttgart· New York.

## Literaturverzeichnis

50. Dagkiran M, Dagkiran N, Surmelioglu O, Balli T, Tuncer U, Akgul E, et al. Radiological Imaging Findings of Patients with Congenital Totally Hearing Loss. *The journal of international advanced otology*. 2016;12(1):43-8.
51. Vogl TJ, Tawfik A, Emam A, Naguib NN, Nour-Eldin A, Burck I, et al. Pre-, Intra- and Post-Operative Imaging of Cochlear Implants. *RoFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*. 2015;187(11):980-9.
52. Tahir E, Bajin MD, Atay G, Mocan BO, Sennaroglu L. Bony cochlear nerve canal and internal auditory canal measures predict cochlear nerve status. *The Journal of laryngology and otology*. 2017;131(8):676-83.
53. Parry DA, Booth T, Roland PS. Advantages of magnetic resonance imaging over computed tomography in preoperative evaluation of pediatric cochlear implant candidates. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2005;26(5):976-82.
54. Roche JP, Huang BY, Castillo M, Bassim MK, Adunka OF, Buchman CA. Imaging characteristics of children with auditory neuropathy spectrum disorder. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2010;31(5):780-8.
55. Casselman JW, Kuhweide R, Deimling M, Ampe W, Dehaene I, Meeus L. Constructive interference in steady state-3DFT MR imaging of the inner ear and cerebellopontine angle. *AJNR American journal of neuroradiology*. 1993;14(1):47-57.
56. Casselman JW, Kuhweide R, Ampe W, D'Hont G, Offeciers EF, Faes WK, et al. Inner ear malformations in patients with sensorineural hearing loss: detection with gradient-echo (3DFT-CISS) MRI. *Neuroradiology*. 1996;38(3):278-86.
57. Sildiroglu O, Cincik H, Sonmez G, Ozturk E, Mutlu H, Gocgeldi E, et al. Evaluation of cochlear nerve size by magnetic resonance imaging in elderly patients with sensorineural hearing loss. *La Radiologia medica*. 2010;115(3):483-7.
58. Nospes S, Brockmann MA, Läßig A. MRT bei Patienten mit Hörimplantaten mit Magnetausstattung – ein Update. *Der Radiologe*. 2019;59(1):48-56.
59. Brechtel B, Tanyildizi Y, Läßig AK. Korreliert die Hörnervendicke mit der Cochlea-Implantat-Performance im Kindesalter? *Deutsche Gesellschaft für Audiologie e.V.*; 2018 [14.01.2021]. Available from: <https://www.dga-ev.com/fileadmin/dga2018/site/data/final/0103.pdf>.
60. Läßig AK, Brechtel B, Wirth G. Ist die Cochlea-Implantat-Performance im Kindesalter abhängig von der Hörnervendicke? *Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie*. 36. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP). Göttingen, 19.-22.09.2019. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2019. DocP5; 2019 [14.01.2021]. Available from: <https://www.egms.de/static/en/meetings/dgpp2019/19dgpp16.shtml>.
61. Weiß C. *Basiswissen Medizinische Statistik*. Springer-Lehrbuch. 5., überarb. Aufl. ed. Berlin, Heidelberg 2010.
62. Biederer J. *Magnetresonanztomographie—technische Grundlagen und aktuelle Entwicklungen*. *Medizinische Klinik*. 2005;100(1):62-72.

## Literaturverzeichnis

63. Baudendistel KT, Heverhagen JT, Knopp MV. Klinische MRT bei 3 Tesla: Aktueller Stand. *Der Radiologe*. 2004;44(1):11-8.
64. Zheng Y, Soli SD, Tao Y, Xu K, Meng Z, Li G, et al. Early prelingual auditory development and speech perception at 1-year follow-up in Mandarin-speaking children after cochlear implantation. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2011;75(11):1418-26.
65. Boons T, Brokx JP, Dhooge I, Frijns JH, Peeraer L, Vermeulen A, et al. Predictors of spoken language development following pediatric cochlear implantation. *Ear and hearing*. 2012;33(5):617-39.
66. Morita T, Naito Y, Tsuji J, Nakamura T, Yamaguchi S, Ito J. Relationship between cochlear implant outcome and the diameter of the cochlear nerve depicted on MRI. *Acta oto-laryngologica Supplementum*. 2004(551):56-9.
67. Zhong Y, Xu T, Dong R, Lyu J, Liu B, Chen X. The analysis of reliability and validity of the IT-MAIS, MAIS and MUSS. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2017;96:106-10.
68. Kang WS, Hyun SM, Lim HK, Shim BS, Cho JH, Lee KS. Normative diameters and effects of aging on the cochlear and facial nerves in normal-hearing Korean ears using 3.0-tesla magnetic resonance imaging. *The Laryngoscope*. 2012;122(5):1109-14.
69. Nadol JB, Jr., Xu WZ. Diameter of the cochlear nerve in deaf humans: implications for cochlear implantation. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*. 1992;101(12):988-93.
70. Russo EE, Manolidis S, Morriss MC. Cochlear nerve size evaluation in children with sensorineural hearing loss by high-resolution magnetic resonance imaging. *American journal of otolaryngology*. 2006;27(3):166-72.
71. Kim BG, Chung HJ, Park JJ, Park S, Kim SH, Choi JY. Correlation of cochlear nerve size and auditory performance after cochlear implantation in postlingually deaf patients. *JAMA otolaryngology-head & neck surgery*. 2013;139(6):604-9.
72. Herman B, Angeli S. Differences in cochlear nerve cross-sectional area between normal hearing and postlingually deafened patients on MRI. *Otolaryngology-head and neck surgery: official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 2011;144(1):64-6.
73. Birman CS, Powell HR, Gibson WP, Elliott EJ. Cochlear Implant Outcomes in Cochlea Nerve Aplasia and Hypoplasia. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2016;37(5):438-45.
74. Buchman CA, Teagle HF, Roush PA, Park LR, Hatch D, Woodard J, et al. Cochlear implantation in children with labyrinthine anomalies and cochlear nerve deficiency: implications for auditory brainstem implantation. *The Laryngoscope*. 2011;121(9):1979-88.
75. Bradley J, Beale T, Graham J, Bell M. Variable long-term outcomes from cochlear implantation in children with hypoplastic auditory nerves. *Cochlear implants international*. 2008;9(1):34-60.

## Literaturverzeichnis

76. Kutz JW, Jr., Lee KH, Isaacson B, Booth TN, Sweeney MH, Roland PS. Cochlear implantation in children with cochlear nerve absence or deficiency. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2011;32(6):956-61.
77. Valero J, Blaser S, Papsin BC, James AL, Gordon KA. Electrophysiologic and behavioral outcomes of cochlear implantation in children with auditory nerve hypoplasia. *Ear and hearing*. 2012;33(1):3-18.
78. Nadol JB, Jr., Young YS, Glynn RJ. Survival of spiral ganglion cells in profound sensorineural hearing loss: implications for cochlear implantation. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*. 1989;98(6):411-6.
79. Adunka OF, Jewells V, Buchman CA. Value of computed tomography in the evaluation of children with cochlear nerve deficiency. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2007;28(5):597-604.
80. Adunka OF, Roush PA, Teagle HF, Brown CJ, Zdanski CJ, Jewells V, et al. Internal auditory canal morphology in children with cochlear nerve deficiency. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2006;27(6):793-801.
81. Teissier N, Van Den Abbeele T, Sebag G, Elmaleh-Berges M. Computed Tomography measurements of the normal and the pathologic cochlea in children. *Pediatric radiology*. 2010;40(3):275-83.
82. El Sadik AO, Shaaban MH. The relationship between the dimensions of the internal auditory canal and the anomalies of the vestibulocochlear nerve. *Folia morphologica*. 2017;76(2):178-85.
83. Huang BY, Roche JP, Buchman CA, Castillo M. Brain stem and inner ear abnormalities in children with auditory neuropathy spectrum disorder and cochlear nerve deficiency. *AJNR American journal of neuroradiology*. 2010;31(10):1972-9.
84. Casselman JW, Offeciers FE, Govaerts PJ, Kuhweide R, Geldof H, Somers T, et al. Aplasia and hypoplasia of the vestibulocochlear nerve: diagnosis with MR imaging. *Radiology*. 1997;202(3):773-81.
85. Baek SK, Chae SW, Jung HH. Congenital internal auditory canal stenosis. *The Journal of laryngology and otology*. 2003;117(10):784-7.
86. Niparko JK, Tobey EA, Thal DJ, Eisenberg LS, Wang NY, Quittner AL, et al. Spoken language development in children following cochlear implantation. *Jama*. 2010;303(15):1498-506.
87. Sharma S, Bhatia K, Singh S, Lahiri AK, Aggarwal A. Impact of socioeconomic factors on paediatric cochlear implant outcomes. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2017;102:90-7.
88. Brackett D, Zara CV. Communication outcomes related to early implantation. *The American journal of otology*. 1998;19(4):453-60.
89. Keilmann A, Friese B, Lassig A, Hoffmann V. Validation of the second version of the LittleEARS((R)) Early Speech Production Questionnaire (LEESPQ) in German-speaking children

## Literaturverzeichnis

with normal hearing. *European archives of oto-rhino-laryngology: official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS): affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*. 2018;275(4):883-8.

90. Wachtlin B, Brachmaier J, Amann E, Hoffmann V, Keilmann A. Development and evaluation of the LittleEARS((R)) Early Speech Production Questionnaire - LEESPO. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2017;94:23-9.

91. May-Mederake B, Kuehn H, Vogel A, Keilmann A, Bohnert A, Mueller S, et al. Evaluation of auditory development in infants and toddlers who received cochlear implants under the age of 24 months with the LittleEARS Auditory Questionnaire. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2010;74(10):1149-55.

92. Svirsky MA, Teoh SW, Neuburger H. Development of language and speech perception in congenitally, profoundly deaf children as a function of age at cochlear implantation. *Audiology & neuro-otology*. 2004;9(4):224-33.

93. Miyamoto RT, Hay-McCutcheon MJ, Kirk KI, Houston DM, Bergeson-Dana T. Language skills of profoundly deaf children who received cochlear implants under 12 months of age: a preliminary study. *Acta oto-laryngologica*. 2008;128(4):373-7.

94. Valencia DM, Rimell FL, Friedman BJ, Oblander MR, Helmbrecht J. Cochlear implantation in infants less than 12 months of age. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2008;72(6):767-73.

95. Miyamoto RT, Houston DM, Kirk KI, Perdew AE, Svirsky MA. Language development in deaf infants following cochlear implantation. *Acta oto-laryngologica*. 2003;123(2):241-4.

96. Colletti V, Carner M, Miorelli V, Guida M, Colletti L, Fiorino FG. Cochlear implantation at under 12 months: report on 10 patients. *The Laryngoscope*. 2005;115(3):445-9.

97. Dettman SJ, Pinder D, Briggs RJ, Dowell RC, Leigh JR. Communication development in children who receive the cochlear implant younger than 12 months: risks versus benefits. *Ear and hearing*. 2007;28(2 Suppl):11s-8s.

98. Ertmer DJ, Young NM, Nathani S. Profiles of vocal development in young cochlear implant recipients. *Journal of speech, language, and hearing research: JSLHR*. 2007;50(2):393-407.

99. Leigh J, Dettman S, Dowell R, Briggs R. Communication development in children who receive a cochlear implant by 12 months of age. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2013;34(3):443-50.

100. Ching TY, Dillon H, Day J, Crowe K, Close L, Chisholm K, et al. Early language outcomes of children with cochlear implants: interim findings of the NAL study on longitudinal outcomes of children with hearing impairment. *Cochlear implants international*. 2009;10 Suppl 1:28-32.

101. Archbold S, Harris M, O'Donoghue G, Nikolopoulos T, White A, Richmond HL. Reading abilities after cochlear implantation: the effect of age at implantation on outcomes at 5 and 7 years after implantation. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2008;72(10):1471-8.

## Literaturverzeichnis

102. Kishon-Rabin L, Taitelbaum-Swead R, Ezrati-Vinacour R, Hildesheimer M. Prelexical vocalization in normal hearing and hearing-impaired infants before and after cochlear implantation and its relation to early auditory skills. *Ear and hearing*. 2005;26(4 Suppl):17s-29s.
103. Ahmad FI, Demason CE, Teagle HF, Henderson L, Adunka OF, Buchman CA. Cochlear implantation in children with postlingual hearing loss. *The Laryngoscope*. 2012;122(8):1852-7.
104. Escorihuela Garcia V, Pitarch Ribas MI, Llopez Carratala I, Latorre Monteagudo E, Morant Ventura A, Marco Algarra J. Comparative study between unilateral and bilateral cochlear implantation in children of 1 and 2 years of age. *Acta otorrinolaringologica espanola*. 2016;67(3):148-55.
105. Tait M, Nikolopoulos TP, De Raeve L, Johnson S, Datta G, Karltorp E, et al. Bilateral versus unilateral cochlear implantation in young children. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2010;74(2):206-11.
106. Roman S, Rochette F, Triglia JM, Schon D, Bigand E. Auditory training improves auditory performance in cochlear implanted children. *Hearing research*. 2016;337:89-95.



## **9 Danksagung**

Mein größter Dank geht an meinen Doktorvater und Betreuerin, die mich bei dieser Arbeit begleitet und immer unterstützt haben. Zusätzlich möchte ich mich auch bei meinen Betreuern der Klinik für Neuroradiologie bedanken, die mir bei allen neuroradiologischen Fragen weiterhelfen konnten.

Großer Dank gilt auch meinen Eltern und meinem Freund, ohne deren Hilfe diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre und auf deren Unterstützung ich jederzeit zählen konnte. Zudem möchte ich mich für die Hilfe bei der Formatierung dieser Arbeit bedanken.

Tabellarischer Lebenslauf

## **10 Tabellarischer Lebenslauf**