

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

## DISSERTATION

### **Evaluation des Versorgungserfolges älterer Patienten nach unilateraler Cochlea-Implantat-Operation unter besonderer Berücksichtigung der kognitiven Funktion**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Arvid Leander Schubert  
aus Rüdersdorf bei Berlin

Datum der Promotion: 4. Juni 2021

*Meiner Familie.*

## Vorwort

Teilergebnisse dieser Arbeit wurden bereits veröffentlicht in:

1. Knopke S, Schubert A, Häußler S, Szczepek A, Gräbel S, Olze H. Influence of Cochlear Implantation on cognitive abilities in post-lingual hearing impaired people aged 70 years or older. *Laryngorhinootologie*. 2018;97(S 02):10482. / 18.04.2018
2. Knopke S, Schubert A, Gräbel S, Häußler S, Olze H. Significant improvement of working memory by cochlear implantation in post-lingual hearing-impaired individuals aged 70 years and older at a 2-year follow-up. *Laryngorhinootologie*. 2019;98(S 02):11089. / 23.04.2019
3. Knopke S, Schubert A, Häussler S, Gräbel S, Olze H. Relationship between cognition and psychometric outcome after cochlear implantation of over 70-year-old, post-lingual hearing impaired persons. *Laryngorhinootologie*. 2020;99(S 02). / 10.06.2020

---

Anmerkung: Zum Zwecke der besseren Lesbarkeit wurde bei der Ausarbeitung dieser Arbeit das Genus der männlichen Form gewählt. Sofern nicht anders beschrieben, beziehen sich die Angaben auf Angehörige beider untersuchter Geschlechter.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>9</b>
<b>Abstrakt</b> .....	<b>10</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>12</b>
1.1. Hörstörungen im Alter: Epidemiologische und ätiologische Aspekte.....	12
1.2. Hörstörungen im Alter und deren Folgen .....	13
1.2.1. Einschränkungen der Lebensqualität .....	13
1.2.2. Intelligenz und Einschränkungen der kognitiven Kapazität.....	15
1.2.3. Neuropsychiatrische Komorbiditäten und Folgen .....	20
1.3. Möglichkeiten der Therapie und Rehabilitation: Das Cochlea-Implantat.....	22
1.3.1. Indikationen eines Cochlea-Implantats und Rehabilitation .....	22
1.3.2. Determinanten des Versorgungserfolges unter dem Aspekt älterer Patienten	
- Ein aktueller Forschungsstand .....	23
<b>2. Zielstellung</b> .....	<b>26</b>
<b>3. Patientenkohorte und Methodik</b> .....	<b>27</b>
3.1. Patientenkohorte.....	27
3.2. Methodik .....	28
3.2.1. Sprachaudiometrische Verfahren .....	29
3.2.1.1. Freiburger Einsilbertest .....	29
3.2.1.2. Oldenburger Satztest.....	30
3.2.2. Wechsler Intelligence Scale for Adults, 4. Edition (WAIS-IV) .....	31
3.2.2.1. Anwendung bei Hörgeschädigten .....	31
3.2.2.2. Struktur und Parameter .....	31
3.2.2.3. Testgüte.....	33
3.2.2.4. Testdurchführung .....	33
3.2.3. Fragebogeninventar.....	37
3.2.3.1. Oldenburger Inventar-Fragebogen.....	37
3.2.3.2. Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire .....	38
3.2.3.3. Allgemeine Depressionsskala - Langform.....	39
3.3. Statistische Auswertung .....	40
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>41</b>
4.1. Demographische Daten und Patientenkohorte .....	41
4.1.1. Altersverteilung bei Testeinschluss .....	41

4.2. Sprachaudiometrie zur Beurteilung des Sprachverstehens.....	41
4.2.1. Freiburger Einsilbertest.....	42
4.2.2. Oldenburger Satztest.....	43
4.3. Fragebögen zur Beurteilung der subjektiven Hörleistung, der gesundheits- bezogenen Lebensqualität und der Depressivität.....	43
4.3.1. Oldenburger Inventar-Fragebogen.....	43
4.3.2. Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire.....	44
4.3.3. Allgemeine Depressionsskala - Langform.....	46
4.4. WAIS-IV zur Beurteilung der kognitiven Funktion.....	47
4.4.1. Arbeitsgedächtnis präoperativ.....	47
4.4.2. Arbeitsgedächtnis postoperativ.....	47
4.4.3. Verarbeitungsgeschwindigkeit präoperativ.....	48
4.4.4. Verarbeitungsgeschwindigkeit postoperativ.....	48
4.4.5. Vergleich: Kognitionsparameter präoperativ - postoperativ.....	49
4.5. Darstellung von Zusammenhängen.....	50
4.5.1. Einflussfaktor Hörvermögen auf Kognition, Lebensqualität, Depressivität.....	50
4.5.1.1. Präoperativer Einfluss.....	50
4.5.1.2. Einfluss nach 6 Monaten postoperativ.....	52
4.5.1.3. Einfluss nach 12 Monaten postoperativ.....	53
4.5.2. Einflussfaktoren Lebensqualität und Depressivität auf die Kognition.....	55
4.5.2.1. Präoperativer Einfluss.....	55
4.5.2.2. Einfluss nach 12 Monaten postoperativ.....	57
4.5.3. Wechselwirkungen von Lebensqualität, Tragedauer und Depressivität.....	58
4.5.4. Einflussfaktor Alter auf Kognition, Lebensqualität und Depressivität.....	60
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>61</b>
5.1. Diskussion der Patientenkohorte und des Studiendesigns.....	61
5.1.1. Patientenkohorte.....	61
5.1.2. Studiendesign.....	62
5.2. Diskussion der Ergebnisse und Methodik des Hörvermögens.....	63
5.2.1. Freiburger Einsilbertest.....	63
5.2.2. Oldenburger Satztest.....	64
5.2.3. Oldenburger Inventar-Fragebogen.....	65
5.3. Diskussion der Ergebnisse und Methodik von Lebensqualität und Depressivität.....	67
5.3.1. Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire.....	67
5.3.2. Allgemeine Depressionsskala.....	69
5.4. Diskussion der Ergebnisse und Methodik der Kognition.....	71
5.4.1. Wechsler Intelligence Scale for Adults, 4. Edition.....	71
5.4.2. Arbeitsgedächtnis.....	71

5.4.3. Einfluss des Hörvermögens auf das Arbeitsgedächtnis.....	72
5.4.4. Verarbeitungsgeschwindigkeit.....	74
5.4.5. Einfluss des Hörvermögens auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit .....	75
5.5. Einflussfaktoren Lebensqualität und Depressivität auf die Kognition .....	77
5.6. Einflussfaktor Hörvermögen auf Lebensqualität und Depressivität .....	79
5.7. Wechselwirkungen von Lebensqualität und Depressivität.....	80
5.8. Einflussfaktor Patientenalter auf die Kognition.....	81
5.9. Limitationen .....	81
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>83</b>
<b>7. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>85</b>
<b>Eidesstattliche Versicherung .....</b>	<b>99</b>
<b>Anteilerklärung.....</b>	<b>100</b>
<b>Lebenslauf .....</b>	<b>101</b>
<b>Publikationsliste.....</b>	<b>102</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>103</b>

# Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

## Teil 1 - Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Normalverteilungskurve der Intelligenz.....	16
Abbildung 2: ELU-Modell nach Rönnerberg et al., 2008.....	18
Abbildung 3: Studienablauf .....	28
Abbildung 4: Satzgliederelemente des OLSA .....	30
Abbildung 5: Struktur der WAIS-IV: Indices und Untertests .....	32
Abbildung 6: Beispielaufgaben des Tests „Symbol-Suche“.....	36
Abbildung 7: Auszug aus dem „Zahlen-Symbol-Test“ .....	37
Abbildung 8: Hauptdomänen, Subdomänen und Items der NCIQ.....	38
Abbildung 9: Kurve der Altersverteilung bei Testeinschluss.....	41
Abbildung 10: Darstellung des Einsilbenverstehens an T0 <sub>ES</sub> , T1 <sub>ES</sub> und T2 <sub>ES</sub> .....	42
Abbildung 11: Darstellung des IQ <sub>AGD</sub> und IQ <sub>VG</sub> an T0 und T2 .....	49
Abbildung 12: Abhängigkeit von Sprachverstehen im Störgeräusch (OLSA) und SYS 12 Monate postoperativ.....	55
Abbildung 13: Abhängigkeit von Sprachproduktion (NCIQ 3) und ZN präoperativ .....	56
Abbildung 14: Abhängigkeit von sozialer Aktivität (NCIQ 5) präoperativ und Verarbeitungsgeschwindigkeit postoperativ.....	58
Abbildung 15: Abhängigkeit von sozialer Aktivität (NCIQ 5) präoperativ und Sprachverstehen im Störgeräusch (OLSA) 6 Monate postoperativ .....	60

## Teil 2 - Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien.....	27
Tabelle 2: Freiburger Einsilbertest: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz .....	42
Tabelle 3: Oldenburger Satztest: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz .....	43
Tabelle 4: Oldenburger Inventar-Fragebogen: Deskriptive Statistik.....	44
Tabelle 5: Oldenburger Inventar-Fragebogen: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz .....	44
Tabelle 6: Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire: Deskriptive Statistik .....	45
Tabelle 7: Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz.....	46
Tabelle 8: Allgemeine Depressionsskala: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz .....	46
Tabelle 9: Kognitionsparameter: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz .....	49
Tabelle 10: Untertests: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz....	50
Tabelle 11: Spearman-Korrelation: Einflussfaktor Hörvermögen an T0 (präoperativ) .....	51
Tabelle 12: Spearman-Korrelation: Einflussfaktor Hörvermögen an T1 (6 Monate postoperativ) .....	52
Tabelle 13: Spearman-Korrelation: Einflussfaktor Hörvermögen an T2 (12 Monate postoperativ) ...	53
Tabelle 14: Spearman-Korrelation: Psychometrischer Einfluss auf die Kognition an T0 (präoperativ).....	56
Tabelle 15: Spearman-Korrelation: Psychometrischer Einfluss auf die Kognition an T2 (12 Monate postoperativ) .....	57
Tabelle 16: Wechselwirkungen zwischen Lebensqualität, Depressivität und Hören 6 Monate postoperativ.....	59
Tabelle 17: Wechselwirkungen zwischen Lebensqualität, Depressivität und Hören 12 Monate postoperativ.....	59

## Abkürzungsverzeichnis

ADS-L	Allgemeine Depressionsskala in der Langform
AGD	Arbeitsgedächtnis
AHL	Asymmetric hearing loss
ARHL	Age-related hearing loss
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
CAPD	Age-related Central Auditory Processing Disorder
CI	Cochlea-Implantat
DSD	Double-sided deafness
ELU	The Ease of Language Understanding
ES	Freiburger Einsilbertest
HRQOL	Health-related quality of life
IQ	Intelligenzquotient
IQ <sub>AGD</sub>	Intelligenzquotient des Arbeitsgedächtnisses
IQ <sub>VG</sub>	Intelligenzquotient der Verarbeitungsgeschwindigkeit
NCIQ	Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire
OI	Oldenburger Inventar-Fragebogen
OLSA	Oldenburger Satztest
RAMBPHO	Rapid Automatic Multimodal Binding of Phonology
RD	Rechnerisches Denken
S0N0	Sprache und Störgeräusch von 0°
S/N	Signal-Rausch-Abstand
SSP	Sprachschallpegel
SVS	Sprachverständlichkeitsschwelle
SYS	Symbol-Suche
VG	Verarbeitungsgeschwindigkeit
WAIS-IV	Wechsler Intelligence Scale for Adults (4. Edition)
WHO	World Health Organization
ZN	Zahlen nachsprechen
ZN-R	Zahlen nachsprechen rückwärts
ZN-S	Zahlen nachsprechen sequentiell
ZN-V	Zahlen nachsprechen vorwärts
ZST	Zahlen-Symbol-Test

## **Abstrakt**

**Hintergrund:** Eine altersbezogene Schwerhörigkeit verursacht für Betroffene weitreichende Konsequenzen. Aufgrund der eingeschränkten Kommunikationsfähigkeit resultiert ein Geflecht aus sozialer Isolation, Depressivität und der Einschränkung kognitiver Funktionen. Darüber hinaus stellt jedes dieser Defizite einen potentiellen Risikofaktor für die Entwicklung einer Demenz dar, deren Inzidenz weltweit jährlich steigt. Eine Hörrehabilitation mittels Cochlea-Implantat (CI) könnte hinsichtlich der Risikoreduktion einen protektiven Effekt haben. Das Ziel dieser Arbeit war dahingehend die audiologische und psychometrische Evaluation des Versorgungserfolges nach unilateraler CI-Operation älterer Patienten unter besonderer Berücksichtigung der Kognition.

**Methodik:** In diese prospektive Arbeit wurden 33 postlingual an Taubheit grenzend schwerhörige Patienten von mindestens 65 Jahren ( $76,10 \pm 4,98$  Jahre) einbezogen, die an der Charité - Universitätsmedizin Berlin eine unilaterale CI-Versorgung erhielten. Die Datenerhebung erfolgte präoperativ sowie im Follow-Up über 6 und 12 Monate und umfasste neben sprachaudiometrischen Testverfahren (Freiburger Einsilbertest, Oldenburger Satztest) auch ein kognitives Assessment (Wechsler Intelligenz Skala, 4. Edition) zur Messung des Arbeitsgedächtnisses und der Verarbeitungsgeschwindigkeit. Zudem erfolgte die Evaluation der Lebensqualität (NCIQ), Depressivität (ADS-L) und des subjektiven Hörvermögens (OI) über ein standardisiertes Fragebogeninventar.

**Ergebnisse:** Eine postoperative, signifikante Verbesserung konnte hinsichtlich der kognitiven Leistungsfähigkeit (Verarbeitungsgeschwindigkeit:  $p < 0,01$ ), des subjektiven Hörvermögens ( $p < 0,01$ ) sowie des Sprachverstehens ( $p < 0,01$  bzw.  $p < 0,05$ ) ermittelt werden. Die gesundheitsbezogene Lebensqualität wurde sowohl prä-, als auch postoperativ konstant hoch eingeschätzt. Eine depressive Symptomatik fand sich konstant auf niedrigem Niveau. Signifikante, positive Korrelationen ergaben sich postoperativ zudem zwischen dem subjektiven Hörvermögen und der Lebensqualität ( $p < 0,01$ ) und zwischen der Verarbeitungsgeschwindigkeit und einem verbesserten Sprachverstehen im Störgeräusch ( $p < 0,05$ ). Weiterhin korrelierte die präoperative soziale Aktivität signifikant mit der postoperativen Verarbeitungsgeschwindigkeit ( $p < 0,05$ ). Das verbesserte Hörvermögen korrelierte signifikant mit niedrigeren Scores für eine depressive Symptomatik ( $p < 0,05$ ).

**Schlussfolgerung:** Die Ergebnisse objektivieren den CI-Versorgungserfolg im Alter. Die Patienten profitieren insbesondere von verbesserten kognitiven Fähigkeiten nach Implantation, wobei die Verarbeitungsgeschwindigkeit hier möglicherweise als sensibler kognitiver Marker einer Hörverbesserung fungiert. Eine hohe Aktivität im sozialen Bereich scheint zudem als Prädiktor für den CI-Versorgungserfolg zu wirken. Weitere Langzeituntersuchungen sind notwendig, um die Nachhaltigkeit der gemessenen kognitiven Verbesserungen zu reproduzieren und um ein Assessment im Hinblick auf Risikodetektion und -reduktion einer Demenzerkrankung bei Ertaubten zu etablieren.

## **Abstract**

### **“Outcome evaluation of unilateral Cochlear Implantation in the elderly particularly focusing on the cognitive function”**

**Background:** Age-related hearing loss can cause multiple health restrictions such as social isolation, depression and cognitive impairment intensified by low-level speech perception. As consequence, recent studies showed an increased risk of dementia in hearing-impaired elderly. Cochlear Implantation might reduce the risk of cognitive decline by increasing recipient’s hearing ability. The aim of this thesis was to examine the audiological and psychometric outcome after unilateral cochlear implantation in the elderly by using a multimodal assessment particularly focusing on cognitive function.

**Patients and Methods:** In this prospective study, 33 post-lingual deafened, at least 65-year-old ( $76,10 \pm 4,98$  years) patients were included which underwent unilateral cochlear implantation at Charité Berlin. The outcome of patients was measured prior to implantation and over a follow-up period of 6 and 12 months by using speech comprehension tests (Freiburg Monosyllabic, German Oldenburg Sentence Test) and a cognitive assessment providing information on working memory and processing speed (Wechsler Adult Intelligence Scale, 4. Ed.). In addition, standardized questionnaires to investigate health-related quality of life (NCIQ), rate of depression (ADS-L) and the subjective valuation of the hearing ability (OI) were used.

**Results:** Postoperatively, a significant improvement of cognitive abilities (processing speed:  $p < 0,01$ ), subjective valuation of hearing ability ( $p < 0,01$ ) and speech comprehension ( $p < 0,01$  or  $p < 0,05$ ) was found out. Health-related quality of life was constantly rated on a high level. The rate of depression was on a continuous low level. Furthermore, there were significant correlations between processing speed and speech perception (German Oldenburg Sentence Test,  $p < 0,05$ ). Besides, a high social activity prior to implantation could be found as predictive value of processing speed. An increased hearing ability correlated significantly with a lower rate of depression after implantation ( $p < 0,05$ ).

**Conclusion:** The results affirm that Cochlear implantation is a promising opportunity in the elderly, especially due to improving cognitive abilities. Processing speed could be considered as a sensitive cognitive marker in hearing improvement. In this context, high social activity could be a predictive value in Cochlear implantation. There are further long-term studies necessary to re-evaluate the sustainability of cognitive improvement and to extend a multimodal assessment to investigate dementia’s risk after cochlear implantation.

## 1. Einleitung

Die sensorische Fähigkeit des Hörens ist eine bedeutsame und hochkomplexe Eigenschaft, welche multifaktorielle und elementare Auswirkungen hat. So bestimmt das Hören nicht nur das instinktive Wahrnehmen von Geräuschen oder Lauten aus der Umwelt, sondern gilt auch als wichtigste Einflussgröße auf unsere Sprachentwicklung. Die Bedeutung von Hören und Sprache im Hinblick auf Kommunikation und Interaktion hat folglich einen tiefen Einfluss auf unsere fortlaufende Sozialisation (1). Vor diesem Hintergrund gilt es zu hinterfragen, welche vielseitigen Auswirkungen eine Störung des Hörvermögens provozieren kann. Neben der Einschränkung der Kommunikationsfähigkeit und des Sprachverstehens resultieren noch weitere Faktoren, wie kognitive Einbußen, soziale Isolation und Depressivität aus einer Hörstörung. Die resultierende Einschränkung des physischen und emotionalen Wohlbefindens ruft folglich eine deutliche Minderung der Lebensqualität der Betroffenen hervor (2,3). Somit kann die Schwerhörigkeit als das am stärksten einflussnehmende, sensorische Gesundheitsproblem unserer Zeit angesehen werden (4).

Die Schwerhörigkeit (Hypakusis) beschreibt eine Varianz von subjektiver Einschränkung des Hörens bis zur objektivierbaren Gehörlosigkeit (5). Dabei klassifiziert die WHO einen mittleren Hörverlust im Reintonaudiogramm von  $\geq 25$  dB bereits als milde Schwerhörigkeit (4). Aus epidemiologischer Sicht kommt der Schwerhörigkeit eine immense Bedeutung zu. Nach der „Global Burden Of Disease“ steht die Schwerhörigkeit als Ursache für Behinderung weltweit an dritter Stelle und ist somit das häufigste sensorische Defizit des Menschen (6). In Deutschland schwankt die Prävalenz der Schwerhörigkeit, gemessen anhand der WHO-Kriterien und unter topografischen Aspekten, zwischen 16% und 17% (7,8). Dabei zeigt sich eine mit dem Lebensalter zunehmende Prävalenz der Schwerhörigkeit. So gibt das Robert-Koch-Institut eine Vervielfachung der Hörstörungen ab dem 65. Lebensjahr an, die sich am häufigsten (40%) als sensorineurale Schwerhörigkeiten im Alter zeigen. Zudem werden Hörstörungen vermehrt im niedrigen Bildungssektor insbesondere hoch-industrialisierter Länder beobachtet (3). Ätiologisch werden Hörstörungen in Schallleitungs- und Schallempfindungsstörungen unterschieden. Hinsichtlich der im höheren Erwachsenenalter primär relevanten Schallempfindungsstörung, werden unter anderem eine altersbedingte Degeneration der Haarzellen, eine Lärmschwerhörigkeit und idiopathische Erkrankungen als häufige Ursachen benannt (2,5).

### 1.1. Hörstörungen im Alter: Epidemiologische und ätiologische Aspekte

Der im Zusammenhang mit einer altersabhängigen Schwerhörigkeit verwendete Begriff *Presbyakusis* (engl. age-related hearing loss, ARHL) beschreibt im Wesentlichen einen beidseitigen, progredient-degenerativen Hörverlust im Alter (9). Eine Zunahme der Presbyakusis wird mit steigendem Lebensalter beobachtet, wobei etwa ein Drittel bis 40% aller Patienten über 65 Jahre betroffen sind und die Schwerhörigkeit somit ein häufiges sensorisches Defizit im Alter darstellt (3,9,10). Die pathophysiologische Entstehung der Presbyakusis wird derzeit als multifaktoriell beschrieben, wobei neben Lärm und Überernährung als exogene Ursachen auch Hypoxie und oxidativer Stress der

Haarzellen als endogene Ursachen evaluiert worden sind (9). Differenziert man die Ursachen hinsichtlich ihrer Qualität, so lassen sich die endogenen Ursachen auf Basis einer Degeneration von Haarzellen des Corti-Organ (sensorisches Defizit) oder neuronaler, retrocochleärer Hörbahnen (neurales Defizit) differenzieren. Tritt eine Kombination dieser beider Pathogenesen auf, wird die Hörstörung als sensorineural beschrieben und manifestiert sich vorwiegend im Hochtonfrequenzbereich (10). Auch metabolisch-endogene Ursachen, beispielweise im Rahmen eines Diabetes mellitus, werden beschrieben. Als weitere einflussnehmende, endogene Risikofaktoren werden in der Literatur darüber hinaus kardiovaskuläre Erkrankungen (insbesondere die arterielle Hypertonie und arteriosklerotische Gefäßwandveränderungen) genannt, die eine Degeneration des Corti-Organ begünstigen können (10,11). Auch genetische Faktoren, wie eine reduzierte Genexpression mitochondrialer Exone, scheinen einen relevanten Einfluss auf die Entstehung einer Presbyakusis zu nehmen (12). Dem gegenüber stehen exogene Ursachen und Risikofaktoren einer Presbyakusis, welche Baur et al. in einer Studie aus dem Jahr 2009 untersucht haben. Insbesondere wird eine andauernde Lärmexposition dabei als evaluierter, prädisponierender Risikofaktor angegeben. Auf untergeordnete Risikofaktoren, wie ototoxische Medikamente, Lösungsmittelexposition oder Nikotinabusus, wird ebenfalls verwiesen (13).

Klinisch relevant werde eine Hörstörung im Alter, wenn sie nach Löhler et al. (2019) zu Kommunikationseinschränkungen im Sinne einer Einschränkung des Sprachverständnisses führe. Dabei sei sie häufig in Situationen mit Hintergrundgeräuschen oder in Situationen, die ein Richtungshören erforderten, für den betroffenen Patienten symptomatisch. Später könnten initiale Mechanismen der Kompensation versagen und sich eine Schwerhörigkeit in Ruhe einstellen. Dadurch bedingt würden sich bei vielen Patienten ein häufiges Nachfragen oder Bitten um lautes Wiederholen erschöpfen und die soziale Position schließlich in Isolation münden (14).

## **1.2. Hörstörungen im Alter und deren Folgen**

An dieser Stelle erscheint es sinnvoll, die möglichen Folgen einer Schwerhörigkeit im Alter zu spezifizieren. Menschen mit einer Schwerhörigkeit im Alter können häufig dazu neigen, ihre auditive Einschränkung zu negieren, wenn sie auf Nachfragen oder Hinweise ihrer Mitmenschen stoßen. Möglicherweise könnten dabei auch Ängste im Hinblick auf eine eventuelle Hörgerätversorgung oder eine mangelnde Akzeptanz des Problems eine Rolle spielen. Die resultierende und progressive Einschränkung der Kommunikationsfähigkeit und Umweltwahrnehmung hat folglich immense Konsequenzen (2).

### **1.2.1. Einschränkungen der Lebensqualität**

Dalton et al. (2003) hoben hervor, welche Alltagseinschränkungen Patienten mit einer Schwerhörigkeit im Alter entwickeln können. Zur Evaluation der Ergebnisse wurde ein Selbst-Assessment bezüglich einfacher Alltagsaktivitäten (z.B. Toilettengang, Bewegung im Raum) durchgeführt. Hierbei konnte gezeigt werden, dass Patienten mit bereits moderaten Hörstörungen deutliche Schwierigkeiten

hinsichtlich der Bewältigung dieser Alltagstätigkeiten hatten. Auch umfangreichere Alltagsaktivitäten, wie Einkauf oder Kochen, fielen den Betroffenen schwer. Infolgedessen resümierten die Autoren einen Hörverlust als nicht unerheblichen Risikofaktor für die Reduktion der allgemeinen Lebensqualität im Alter und stellen eine Hörstörung als synergistischen Effekt zur Aufrechterhaltung einer Multimorbidität dar (15). Weitere Studien untermauerten diese Beobachtung und stellten fest, dass mit der Schwere der Höreinschränkung auch die Schwere der Einschränkung der Lebensqualität korrelierte (16).

Der Begriff *Lebensqualität* sollte in diesem Kontext und insbesondere wegen seiner klinischen Relevanz bei Hörstörungen definiert werden. Die WHO beschreibt die Lebensqualität als Wahrnehmung des Menschen über seine Stellung im Leben, seine Kultur und Identität in Wechselwirkung mit seinen Zielen, Erwartungen und Befürchtungen. Die Lebensqualität sei kein objektivierbares Maß, sondern unterliege der Selbsteinschätzung eines jeden Einzelnen im Kontext seiner kulturellen, sozialen und umweltbedingten Stimuli (17). Um all diese Faktoren zu berücksichtigen, hat die WHO die Lebensqualität in 4 Subdomänen unterteilt. Es werden „physische Gesundheit, psychische Gesundheit, soziale Beziehungen und Umwelt“ voneinander abgegrenzt (17).

Um die Auswirkungen einer Hörstörung im Alter auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität (physische und mentale Gesundheit) zu untersuchen, wurde die *The Blue Mountains Hearing Study* von Chia et al. im Jahr 2007 initiiert. Erkenntnis dieser Studie war, dass insbesondere Patienten mit einem beidseitigen Hörverlust eine schlechtere gesundheitsbezogene Lebensqualität aufwiesen, die mit der Schwere der angegebenen Hörstörung korrelierte. Die mit Hörgeräten versorgte Vergleichsgruppe zeigte wiederum eine höhere gesundheitsbezogene Lebensqualität (18).

Eine weitere, in Bezug auf Gehör sehr relevante Domäne der Lebensqualität ist die soziale Komponente. Wie anfänglich beschrieben, ist das Gehör unabdingbar für eine produktive Kommunikation. Die Einschränkung des Hörens hinsichtlich der sozialen Komponente und Kommunikation wurde von Ciorba et al. (2012) untersucht. Dabei zeigte sich, dass eine Presbyakusis über eine dysfunktionale Kommunikation ursächlich für eine Verminderung der sozialen Interaktion war. Darüber hinaus wurde die Vermutung angestellt, dass eine Schwerhörigkeit im Alter dahingehend eine soziale Isolation (auch bezüglich der eigenen Familie) und Verminderung der sozialen Aktivität hervorrufen könne. Durch die soziale Deprivation bedingt sei auch die Inanspruchnahme medizinischer Angebote zur Behandlung der Hörstörung verringert, was ein Fortbestehen und Verstärken der körperlichen und sozialen Behinderung provozieren würde (19). Eine weitere Studie, die den Einfluss des (Schwer-)Hörens auf die soziale Situation untersuchte, wurde von Mick et al. im Jahr 2013 durchgeführt. Diese Studie stellte bei größerer Patientenzahl dar, dass insbesondere weibliche Patientinnen im Alter von 60 bis 69 Jahren eine häufigere soziale Isolation (kleines soziales Netzwerk, geringe emotionale Zuwendung, wenige bis keine Freunde/Verwandten) bei abnehmender Hörfunktion zeigten als männliche Patienten. Zudem diskutiert die Studie von Mick et al. die erhöhte Mortalität bei sozialer Isolation, wobei hier als mögliche disponierende Faktoren unter anderem Depressivität und Myokardinfarkte genannt werden (20).

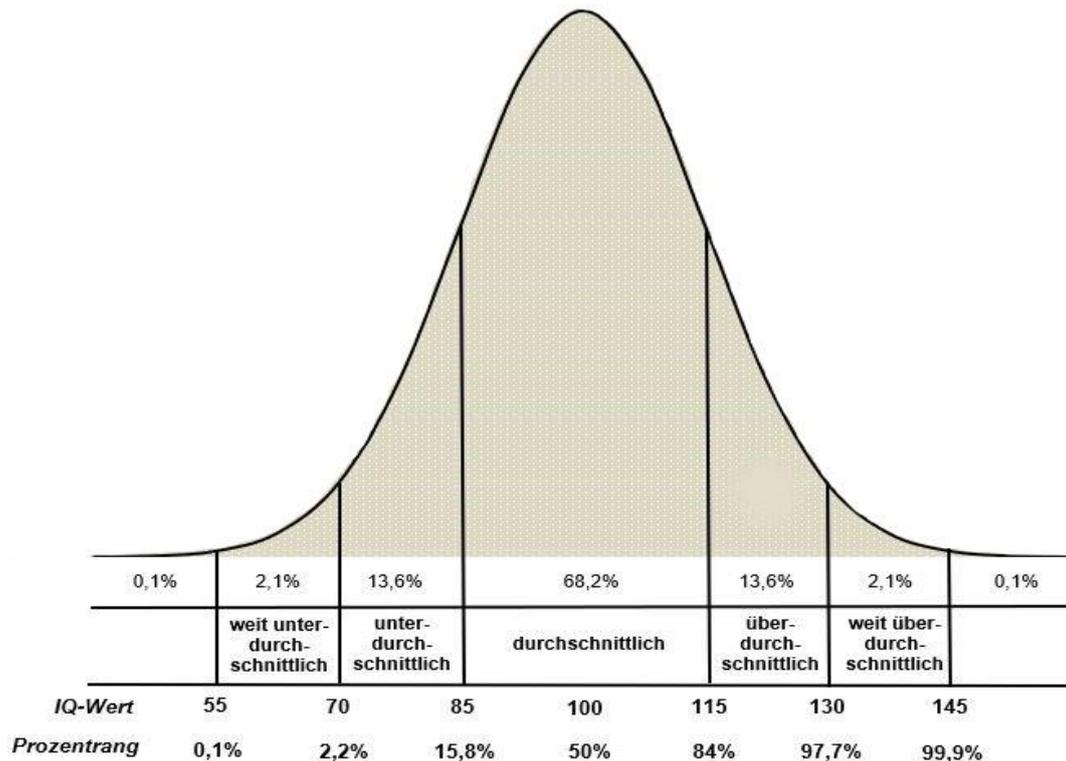
### 1.2.2. Intelligenz und Einschränkungen der kognitiven Kapazität

Zur Veranschaulichung der Wechselwirkungen zwischen Hören und Kognition, soll zunächst erklärt werden, welche Intelligenztheoretischen Konzepte dabei als Grundlage dienen.

Die *Intelligenz* eines Menschen wird dabei von Schweitzer (2006) als die Menge von für die Erbringung intellektueller Leistungen notwendiger Fähigkeiten definiert (21). Das aus wissenschaftlicher Sicht am besten untersuchte und etablierte Modell zur Erklärung der strukturellen Intelligenz ist das Cattell-Horn-Carroll-Modell (22,23). Das Cattell-Horn-Carroll-Modell beschreibt im Grunde das Vorhandensein multipler auf die Intelligenz des Menschen einwirkender Faktoren, unter anderem den G-Faktor, der das fundamentale geistige Vermögen eines Menschen definiert. Darüber hinaus erlaubt das Modell die Trennung der Intelligenz in einen *fluiden* und in einen *kristallinen* Anteil. Die kristalline Intelligenz beschreibt dabei diejenigen Fähigkeiten, die auf dem Wissen und Erfahrungen einer Person beruhen. Die fluide Intelligenz hingegen beschreibt kognitive Mechanismen, die nötig sind, um auf neuartige Probleme zu reagieren und diese zu lösen. Domänen, die der fluiden Intelligenz zugeordnet werden, sind unter anderem die sogenannten Exekutivfunktionen wie Arbeitsgedächtnis, Planung und kognitive Flexibilität. Auch andere kognitive Funktionen, wie die Verarbeitungsgeschwindigkeit, werden der fluiden Intelligenz zugeordnet (22,24).

Der Verteilung der Intelligenz liegt die Berechnung eines *Intelligenzquotienten* (IQ) zugrunde, welcher Auskunft über die Position einer Person in einer Populationsverteilung gibt und von David Wechsler 1939 skaliert wurde (21). Der Intelligenzquotient wird anhand einer Gauß'schen Verteilungskurve metrisch skaliert, wobei den einzelnen IQ-Intervallen qualitative Beschreibungen der Intelligenz (weit unterdurchschnittlich, unterdurchschnittlich, durchschnittlich, überdurchschnittlich und weit überdurchschnittlich) zugeordnet (25,26) (s. Abb. 1). Als Ausgangspunkt der Skalierung wurde der Intelligenzquotient von 100 als „durchschnittlich“ festgelegt, wobei eine Standardabweichung von  $\pm 15$  die Streuung der durchschnittlichen Intelligenz in einer repräsentativen Bevölkerungsgruppe erlaubt. Es wird davon ausgegangen, dass unter repräsentativen Bedingungen etwa zwei Drittel (68,2%) der Bevölkerung dem durchschnittlichen Intelligenzbereich zuzuordnen sind (25,26). Zur besseren Vergleichbarkeit wird analog zu dem Intelligenzquotienten auch ein Prozentrang angegeben. Dieser gibt darüber Auskunft, wie viel Prozent der Probanden einer Altersgruppe das gleiche Ergebnis oder ein schlechteres Ergebnis erzielt haben (26).

Insbesondere bei alternden Menschen wird eine Abnahme der fluiden Intelligenz beschrieben (22,27). Darüber hinaus hat sich die Frage etabliert, inwiefern eine Schwerhörigkeit, insbesondere als häufiges sensorisches Defizit des älteren Menschen, Einfluss auf kognitive Fähigkeiten hat. Hierbei konnte in mehreren umfangreichen Untersuchungen festgestellt werden, dass eine Schwerhörigkeit im Alter zu einer Abnahme kognitiver Funktionen führt und infolgedessen das Risiko für die Entstehung einer Demenz und erhöhter Mortalität birgt (28–32). Um mögliche Zusammenhänge zwischen auditorischen und kognitiven Funktionen herauszuarbeiten, wurden hierfür einige Modelle und Theorien entwickelt.



**Abbildung 1: Normalverteilungskurve der Intelligenz** (modifiziert nach: Petermann, 2012) (126)

### ***Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (engl. Age-related Central Auditory Processing Disorder, CAPD) & Common Cause Hypothesis***

Als theoretische Grundlage der (auditiven) Verarbeitung und Wahrnehmung von Informationen dienen die sogenannten top-down-Prozesse sowie die bottom-up-Prozesse. Hierbei erfolgt zunächst die auditive Aufnahme und Weiterleitung einer Information (bottom-up), wobei dieselbe im Anschluss auf zentraler Ebene verarbeitet wird (top-down). Die Verarbeitung der Information erfolgt unter Zuhilfenahme weiterer Funktionen höherer Ordnung, wie Kognition, Wissen und Gedächtnisleistung. Als neurobiologisches Korrelat zu den top-down-Prozessen werden hierbei insbesondere Verarbeitungsaktionen im fronto-temporalen Netzwerk angesehen (33–35). Diskutabel erscheint an dieser Stelle der Aspekt, dass eine Störung des bottom-up-Prozesses konsekutiv zu einer Abnahme der top-down-Prozesse führen kann. Die *Common Cause Hypothesis* besagt in diesem Kontext, dass altersbedingte, neurodegenerative Prozesse (beispielsweise vaskulärer oder metabolischer Genese) den gemeinsamen Boden für die Entstehung einer Hörverarbeitungsstörung (bottom-up) und einer kognitiven Dysfunktion (top-down) bilden. Folglich resultiert eine dysfunktionale Informationsverarbeitung auditiver Modalitäten im zentralen Nervensystem (auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung) (29). Eine altersbezogene Schwerhörigkeit führt konsekutiv zu einer Degeneration und Volumenabnahme zentraler Neurone, insbesondere jener im Temporallappen. In jüngeren Studien konnte zudem aufgezeigt werden, dass Patienten mit einem ARHL auch Atrophien in primär nicht-auditorischen Hirnregionen aufwiesen, die unter anderem die Spracherinnerung

steuern und über ihre Dysfunktionalität eine kognitive Einschränkung erklärten. Hierbei wurde insbesondere das cingulo-operculare Netzwerk identifiziert. Bereits in frühen Stadien der ARHL konnte mittels Elektroenzephalogramm-Analysen eine Abnahme der kortikalen Temporallappenfunktionalität festgestellt werden. Pathophysiologisch relevant wird dieser Umstand für Patienten folglich im Sinne eines reduzierten Sprachverständnisses und einer Abnahme des Arbeitsgedächtnisses (36–39). Sardone et al. (2019) beschreiben die Zusammenhänge zwischen peripher-auditivem Input und der polytopen, zentralen Verarbeitung als „Kognitives Ohr“ und untersuchten die klinischen Folgen der CAPD. Die auf Grundlage der zentralen Dysfunktionen entstehende sensorische Deprivation hatte folglich einen negativen Einfluss auf die soziale Interaktion. Zudem wurde die Entstehung relevanter kognitiver Folgeschäden für den Patienten genannt, wie etwa die Einschränkung des Arbeitsgedächtnisses (40).

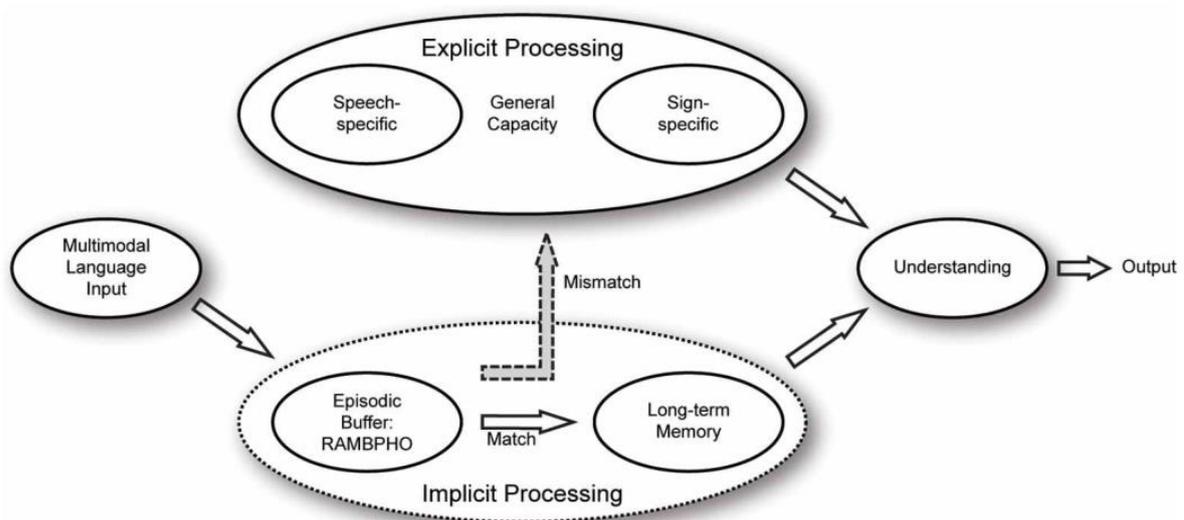
### ***Baddeleys Arbeitsgedächtnismodell***

Das Arbeitsgedächtnis dient als Fähigkeit dazu, Informationen und Eindrücke aktiv im Bewusstsein zu speichern, um mit diesen ergebnisorientiert zu handeln. Der abrufbare Informationsanteil des Arbeitsgedächtnisses ist manipulierbar. Baddeley definiert das Arbeitsgedächtnis als Kurzzeitgedächtnis, welches kapazitätsbeschränkt und zeitlich begrenzt verfügbar sei (41). Ein wesentlicher Aspekt des Arbeitsgedächtnismodells ist die sogenannte „Phonologische Schleife“. Sie beschreibt im Grunde eine kurzzeitige (1 bis 2 Sekunden) Speichereinheit für einen phonemischen Input, um diesen zu kodieren und zentral weiterzuleiten. So werden Laute direkt in eine Subdomäne der Phonologischen Schleife, dem „Passiven Phonologischen Speicher“, gespeist. Dort können die Laute verändert oder umkodiert werden, wobei eine Umkodierung primär bei geschriebener Sprache relevant ist. Die Funktionalität der Phonologischen Schleife ist demnach eng mit der auditiven Sprachperzeption und dem Arbeitsgedächtnis verbunden. Folglich würden sich eine Abnahme des phonemischen Inputs (Schwerhörigkeit) und eine Reduktion der Kapazität des phonologischen Speichers bedingen, was die Kausalität eines reduzierten Arbeitsgedächtnisses bei ARHL erklären könnte (41,42). Ng et al. (2013) konnten bekräftigend unterstreichen, dass Patienten mit Hörgeräten eine schnellere Sprachperzeption und folglich eine gesteigerte Funktion des phonologischen Speichers aufweisen und somit eine Verstärkung der Aktivität des Arbeitsgedächtnisses hatten (43). Eine weitere Komponente, die hinzugefügt wurde, ist der „Episodische Puffer“, welcher eine chronologische Zusammenführung und Speicherung von (phonologischen) Informationen ermöglicht und somit auch eine Brücke zum Langzeitgedächtnis bildet (41,42).

### ***The Ease Of Language Understanding (ELU) Model***

Um den Zusammenhang zwischen Sprachperzeption, Arbeitsgedächtnis und den Einfluss einer Schwerhörigkeit differenzierter zu betrachten, lässt sich das von Rönneberg et al. im Jahr 2008 entwickelte ELU-Modell in den Fokus stellen, welches 2013 modifiziert wurde. Das ELU-Modell beschreibt als initialen Stimulus einen multimodal-sensorischen Input (auditorisch, visuell), welcher in

ein zu Baddeleys „Episodischer Puffer“ analoges Speichersystem (Rapid Automatic Multimodal Binding of Phonology, RAMBPHO) eingespeist wird und mit Informationen des Langzeitgedächtnisses abgeglichen werden kann (Top-Down-Prozess). Sofern der Abgleich gelingt, kann eine Sprachverarbeitung auf übergeordneter Ebene stattfinden. Voraussetzungen für eine stimmige und automatisierte Weiterverarbeitung des (auditorischen) Inputs ist eine ungestörte Sprachperzeption (implizierte Verarbeitung). Sollte die Sprachperzeption hingegen fehlerhaft sein (beispielsweise durch eine Schwerhörigkeit bedingt), gehen Rönnerberg et al. von einem Weg der expliziten Verarbeitung aus (s. Abb. 2). Hintergrund der expliziten Verarbeitung ist, dass fehlerhafte phonologische Daten zur Modifikation und Korrektur für längere Zeit im RAMBPHO gehalten werden müssen, um verarbeitet und abgeglichen werden zu können. Zum einen beansprucht der Umweg der expliziten Sprachverarbeitung folglich die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, zum anderen verlangt er eine verlängerte Verarbeitungszeit. In diesem Kontext wurde die Vermutung angestellt, dass eine Schwerhörigkeit insbesondere im Alter die kognitiven Ressourcen belastet, indem ein Großteil der Aufmerksamkeit in der Verarbeitung der lückenhaften phonologischen Informationen gebunden wird. Das ursprüngliche ELU-Modell wurde im Jahr 2013 um phonologisch relevante Modalitäten, wie semantische Spracheinflüsse, erweitert. Dabei wird beschrieben, dass im Falle einer expliziten Sprachverarbeitung neben rein phonologischen Aspekten auch semantische Aspekte aus dem Langzeitgedächtnis abgeglichen werden, welches als eine Art mentales Lexikon fungiert. Nach jedem Abgleich führt eine Verarbeitungsschleife zurück in das initiale Speichersystem (RAMBPHO), wo eine erneute Evaluation stattfindet (44,45).



**Abbildung 2: ELU-Modell nach Rönnerberg et al., 2008 (44)**

Anlehnend an das ELU-Modell konnte in sprachaudiometrischen Untersuchungen im Störgeräusch festgestellt werden, dass insbesondere bei älteren Patienten das kognitive System durch den erschwerten phonologischen Abgleich des expliziten Weges belastet wurde. Hierbei stellten Meister et al. (2011) fest, dass ältere Patienten mit einer höheren Sprachverständlichkeitsschwelle eine

geringere Kapazität des Arbeitsgedächtnisses hatten (46). Diese Untersuchung hebt neben der ELU-Modellvorstellung den bedeutsamen Einfluss des Arbeitsgedächtnisses auf das Sprachverstehen hervor. Zudem wurde von Stenfelt und Rönnerberg (2009) beschrieben, dass die Schwere der Hörstörung nicht allein anhand der pathologischen Läsion erklärbar sei, sondern auch anhand der mangelnden kognitiven Ressourcen zur Interpretation der akustischen Information (47).

### ***Cognition Load Theory***

Auch die Cognition Load Theory nach Sweller ist ein Modell zur Erklärung der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses bei kognitiver Anforderung im Rahmen des Hörprozesses. Die Cognition Load Theory beschreibt, dass bei einer Hörstörung die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses zu Gunsten einer aufwändigeren Hörverarbeitung sinkt. Bedingt durch diese Diversion resultiert folglich die Atrophie gewisser Hirnareale, die auch für andere kognitive Prozesse von Bedeutung sind. In der Folge werden Demenz und Depressivität diskutiert. Der Einsatz von Hörhilfen kann die Diversion des Arbeitsgedächtnisses zurücksetzen und somit die Kaskade der zentralen Degeneration vermindern (29,48).

### ***Bedeutung der Verarbeitungsgeschwindigkeit***

Die Verarbeitungsgeschwindigkeit beschreibt als ein Teil der fluiden Intelligenz das schnelligkeitsbezogene Verarbeiten neu aufgenommener Elemente. Dabei wird zum einen berücksichtigt, innerhalb welcher Zeit eine Person eine visuelle oder auditive Information aufnehmen, verarbeiten und verstehen kann. Zum anderen ist die Zeit relevant, die die Person benötigt, die verarbeitete Information in einer konkreten Aufgabe anschließend umzusetzen (49, S.44). Finkel et al. (2007) und Kerchner et al. (2012) beschreiben, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit ein wichtiger Indikator in der altersbezogenen Abnahme kognitiver Fähigkeiten sei und dass eine Atrophie der weißen Substanz im Alter als mögliches neuropathologisches Korrelat dafür infrage käme (50,51). Im Gegensatz zur Exekutivfunktion „Arbeitsgedächtnis“ sind in der Literatur nur wenige Beschreibungen darüber zu finden, inwiefern eine Schwerhörigkeit im Alter die Verarbeitungsgeschwindigkeit beeinflussen kann. Zwei Studien untersuchten dahingehend die Geschwindigkeit der Sprachverarbeitung älterer Patienten. Dabei hoben sowohl Wendt et al. (2015), als auch bei Pickora-Fuller (2003) hervor, dass Patienten mit ARHL eine prolongierte Satzverarbeitungsgeschwindigkeit im Vergleich zur normal hörenden Vergleichsgruppe aufwiesen. Dieser Effekt wurde insbesondere bei einer Sprachverarbeitung im Störgeräusch beobachtet (52,53). Yumba et al. (2017) bekräftigten dieses Phänomen, indem die Verarbeitungsgeschwindigkeit als Prädiktor des Sprachverständnisses im Störgeräusch bei Schwerhörigen identifiziert wurde. Folglich profitierte die Verarbeitungsgeschwindigkeit in der untersuchten Kohorte von einer Verbesserung des Hörens im Störgeräusch, beispielsweise durch Hörgeräte (54).

### **1.2.3. Neuropsychiatrische Komorbiditäten und Folgen**

Eine soziale Isolation und die Abnahme kognitiver Kapazitäten fungieren als mögliche direkte Folgen einer Schwerhörigkeit im Alter. Bei einem Fortbestehen dieser Einschränkungen, sollte darüber hinaus auch die Entstehung eventueller Komorbiditäten beleuchtet werden.

#### ***Demenz durch Schwerhörigkeit?***

Die WHO definiert die Demenz durch einen progredienten Abfall kognitiver Fähigkeiten (Denken, Gedächtnis, Kalkulation, Lernen) mit einem konsekutiven Zerfall der Alltagskompetenz (55). Dabei betrifft die Demenz meist Personen jenseits des 65. Lebensjahres. Es wird davon ausgegangen, dass aktuell knapp 50 Millionen Menschen weltweit von einer Demenz betroffen sind und sich diese Zahl in den nächsten 30 Jahren verdreifachen wird (56). Die „Lancet Commission on Dementia Prevention, Intervention, and Care“ stellt hierbei insbesondere den Zusammenhang zwischen einer altersgebundenen Schwerhörigkeit und dem Risiko einer Demenzerkrankung dar. Eine Hörstörung bereits im mittleren Alter stellt folglich den größten Risikofaktor einer Demenz dar, gemessen am deutlichen Anstieg der Fallzahlen ab dem 55. Lebensjahr. Zudem wird angenommen, dass ein höheres mit Schwerhörigkeit verbrachtes Lebensalter das Demenzrisiko weiterhin fördert (57). Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass eine Schwerhörigkeit im mittleren Alter etwa 9% aller weltweiten Demenzerkrankungen bedingen könnte (58).

Grundlegende Überlegungen zu dem Einfluss einer Schwerhörigkeit auf eine etwaige Demenz wurden bereits im Jahr 1989 von Uhlmann et al. angestellt. In einer Fall-Kontroll-Studie mit 100 an Morbus Alzheimer erkrankten Patienten und 100 gesunden Patienten wurde untersucht, welchen Einfluss eine mögliche Schwerhörigkeit auf die Entstehung einer Demenz hatte. Die Alters-, Bildungs- und Geschlechtsverteilung wurde dabei homogen verteilt (mittleres Alter in beiden Gruppen 77 Jahre), um die Vergleichbarkeit beider Gruppen zu gewährleisten. Im Studienverlauf zeigte sich zunächst, dass Alzheimer-Patienten signifikant häufiger an Schwerhörigkeit litten als die Vergleichsgruppe. Zudem konnte evaluiert werden, dass die Hörstörung signifikant mit der Schwere der kognitiven Einschränkung, gemessen am Mini-Mental-Status-Score, der Patienten beider Gruppen korrelierte. Folglich postulierten Uhlmann et al., dass eine Schwerhörigkeit, die zu einer kognitiven Einschränkung führe, auch ein möglicher Risikofaktor für die Entstehung einer Demenz sein könnte. Dabei wurde jedoch betont, dass eine Hörstörung nicht ursächlich, aber verstärkend auf die Symptome einer Demenz wirken könnte. Die Autoren gaben abschließend den Ausblick, dass der Einfluss einer Versorgung mit Hörgeräten zur Hörverbesserung, im Hinblick auf die Symptomverbesserung bei Patienten mit Demenz, untersucht werden sollte (59). Jüngere Untersuchungen konnten darauf aufbauend ein ARHL als Risikofaktor für eine Demenz reproduzieren (58, 60–64).

Lin et al. (2011) untersuchten das Risiko für eine Demenzentwicklung abhängig von der Schwere der Hörstörung. Dabei wurde herausgearbeitet, dass im Vergleich zu einer normalhörenden Person das Risiko einer Demenz bei einer milden Hörstörung fast doppelt so hoch war (HR = 1,89), bei einer

schweren Hörstörung sogar fast 5-fach erhöht (HR = 4,94). Eine mögliche Risikoreduktion durch Hörgeräte konnten in dieser Untersuchung jedoch nicht evaluiert werden (60). Zur Klärung eines möglichen Zusammenhanges zwischen Schwerhörigkeit, kognitivem Abbau und der Entstehung einer Demenz wird angenommen, dass hierfür multifaktorielle Einflüsse von Bedeutung sind. Tragende Theorien sind in diesem Zusammenhang die *Cognitive Load Theory* und die *Common cause Hypothesis*, die auf dem Boden einer Schwerhörigkeit die Brücke zur Entstehung einer Demenz bilden könnten (29,32,63). Nicht zuletzt sind auch weitere Einflüsse zu diskutieren, die das Risiko einer Demenzentwicklung im Kontext eines ARHL fördern könnten. Dabei gilt die soziale Isolation, welche aus einem ARHL entstehen kann (20), ebenfalls als unabhängiger Risikofaktor für die Entwicklung einer Demenz (32,65,66). Die „Lancet Commission on Dementia Prevention, Intervention, and Care“ schätzt unter anderem eine Schwerhörigkeit, soziale Isolation und Depression als „potenziell modifizierbare Risikofaktoren“ einer Demenz ein und empfiehlt in diesem Kontext eine gründliche Diagnostik und risikoadaptierte Behandlung letzterer (56,57).

### ***Interaktion von Schwerhörigkeit, sozialer Isolation und Depression***

Ein ARHL ist eng mit der Entstehung einer Depression verknüpft (67–69). Neben der Abnahme kognitiver Fähigkeiten, hat die hörbedingt verminderte Kommunikationsfähigkeit mit resultierender sozialer Isolation eine zentrale Bedeutung in der Pathogenese einer Depressivität. Folglich würden sich ältere Menschen aus Situationen, die ein aufmerksames Hören erforderten, zurückziehen (69,70). Dies hat nach Jahren eine Dysfunktion auf neuronaler Ebene als Konsequenz. Bedingt durch die auditorische Deprivation nimmt die Aktivität im zentralen Hörcortex ab und provoziert eine Dysfunktion in der auditorisch- limbischen Kommunikation. Zudem wird eine Atrophie frontallirnständiger Areale beschrieben, die neben der auditiven auch eine kognitive Deprivation verstärken können. Bedingt durch die Abnahme kognitiver Kapazitäten und Störung der Emotionsreaktivität im limbischen System erhöht sich folglich das Risiko einer Depression im Rahmen eines ARHL deutlich (69).

Obwohl die Depression im Rahmen einer Schwerhörigkeit als eigenständige Komorbidität angesehen werden kann, sollte eine Abgrenzung zur dementiellen Erkrankung erfolgen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund wichtig, dass sich die klinischen Erscheinungsformen überlappen oder ähneln können (71). Fellgiebel & Hautzinger (2017) beschreiben dahingehend, dass die klinischen Symptome einer Altersdepression den Symptomen eines beginnenden dementiellen Syndroms stark ähneln können. So stehen bei der Altersdepression häufig kognitive Defizite im Vordergrund. Bei einer Demenz hingegen können Störungen des Antriebs und sozialer Rückzug als initiale Symptome imponieren. Eine Grenze zwischen funktioneller und hirngenanischer Genese sei klinisch häufig nicht sicher feststellbar. Der in diesem Zusammenhang verwendete Begriff der *Pseudodemenz* beschreibt eine kognitive Dysfunktion im Rahmen einer depressiven Erkrankung im Alter, ohne dass eine degenerative Hirnerkrankung vorliegt (72). Nach der „Lancet Commission on Dementia Prevention, Intervention, and Care“ gilt die Depression als potentiell reversibler Risikofaktor für die Entstehung einer manifesten Demenz im Alter und sollte frühzeitig multimodal und kausal behandelt werden.

### **1.3. Möglichkeiten der Therapie und Rehabilitation: Das Cochlea-Implantat**

Das Cochlea-Implantat (CI) ist eine Innenohrprothese, welche über eine elektrische Stimulation des Hörnervs eine sensorische Innenohrschwerhörigkeit überbrücken kann. Dabei werden akustische Informationen über einen retroaurikulär anliegenden Sprachprozessor mit Mikrofon zunächst aufgenommen und verarbeitet, sowie anschließend über eine integrierte Sendespule transkutan an eine implantierte Empfängerspule übertragen. Das Implantat transformiert das akustische Signal in einen elektrischen Impuls und leitet diesen über eine anliegende Elektrode weiter. Die Elektrode wird entsprechend der individuellen Anatomie der Cochlea in die Hörschnecke inseriert und gewährleistet die tonotop-elektrische Stimulation des Hörnervs, sodass infolge ein Höreindruck in der Hörbahn entstehen kann (73). In Deutschland werden gegenwärtig etwa 4.000 Patienten pro Jahr mit einem Cochlea-Implantat versorgt, wovon überwiegend (etwa 70%) Erwachsene betroffen sind (74).

Die ersten Cochlea-Implantat-Operationen wurden in Deutschland in den 1980er Jahren durchgeführt, wobei bereits in den 1960er Jahren erste experimentelle Überlegungen zur Stimulation des Hörnervs entwickelt worden sind (74). Initial wurden vorwiegend (prälingual) ertaubte Kinder mit einem CI versorgt. Innerhalb der letzten 20 Jahre wurde die bilaterale Versorgung erwachsener Patienten mit beidseitig an Taubheit grenzender Schwerhörigkeit zunehmend als Indikation ausgeweitet und standardisiert. Prägend für diese Indikationsstellung war die Erkenntnis, dass ein binaurales Hören einen großen Einfluss auf das Richtungshören und Hören im Störgeräusch hat, denen Patienten in ihrem natürlichen Umfeld ausgesetzt sind (74–76). Seit wenigen Jahren unterliegt die CI-Versorgung einem weiteren Indikationswandel, bei dem zusätzlich die Versorgung einseitig ertaubter Patienten angestrebt wird. Auch hier konnte gezeigt werden, dass Patienten mit einem einseitigen Hörverlust hinsichtlich eines binauralen Hörens von einem CI profitieren können (74,77,78).

#### **1.3.1. Indikationen eines Cochlea-Implantats und Rehabilitation**

Die *Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie* hat in einem Weißbuch Empfehlungen zur Versorgung mit einem Cochlea-Implantat zusammengetragen, welche auf der AWMF-Leitlinie „Versorgung mit Cochlea-Implantaten und anderen Ohrimplantaten“ basieren. Demzufolge solle die CI-Versorgung in einem zertifizierten Zentrum und in einem multiprofessionellen Team erfolgen (79). Als Versorgungsindikationen werden unter anderem angesehen:

- absehbar besseres Hören und Sprachverstehen mit einem CI als mit Hörgeräten
- Hörnerv und Hörbahn sind intakt
- Einsilben-Verständlichkeit  $\leq 60\%$  im Freiburger Einsilbertest bei 65 dB
- postlingual Ertaubte mit Restgehör
- nötige Rehabilitations- und Operationsfähigkeit vorhanden

Neben der präoperativen Erfassung von (sprach-)audiometrischen Daten erfolgt auch die objektive Hörtestung, beispielsweise im Rahmen einer Hirnstammaudiometrie und otoakustischer Emissionen,

sowie die neuroradiologische Diagnostik. Nach erfolgreicher Implantation schließt sich ein umfangreiches Erstanpassungs- und Nachsorgekonzept an. Innerhalb der ersten 6 Wochen postoperativ erfolgen unter anderem die Einstellung des Sprachprozessors, HNO-ärztliche und sprachaudiometrische Untersuchungen, sowie ein erstes Sprach-Hör-Training. Innerhalb des ersten Jahres postoperativ werden zudem hörtherapeutische Trainings-Konzepte intensiviert und auf alltägliche Situationen adaptiert. Dabei wird der Fokus beispielsweise auf Satztraining, Umgang mit Medien und Telefontraining gesetzt. Weitere technische und audiometrische Kontrolluntersuchungen schließen sich fortlaufend an und evaluieren den integrativen Ansatz aus Hör- und Sprachtraining (74,79).

### **1.3.2. Determinanten des Versorgungserfolges unter dem Aspekt älterer Patienten – Ein aktueller Forschungsstand**

Eine Cochlea-Implantat-Versorgung ist, unter Vorbehalt der genannten Indikationen, auch bei älteren Patienten ( $\geq 65$  Jahren) aus mehreren Gründen empfehlenswert. Zum einen resultiert ein signifikant besseres Sprachverständnis bereits nach unilateraler CI-Versorgung älterer Patienten, zum anderen wird eine deutliche postoperative Verbesserung der allgemeinen Lebensqualität bei verbesserten kognitiven Fähigkeiten beschrieben (80–84). Dabei zeigt auch ein hohes Alter bei Implantation nach Mosnier et al. (2014) keinen negativen Effekt auf das Outcome (85), wohl aber Dauer der Ertaubung und Restsprachverstehen vor Implantation (86,87). Faktoren wie Geschlecht, Nationalität und Bildung scheinen jedoch keine abhängigen Determinanten des Versorgungserfolges zu sein (88). Zudem hält sich das Risiko postoperativer Komplikationen, wie Schwindel, gering. Allgemein zeigt sich, dass ältere Patienten zwar eine längere und intensivere Rehabilitation benötigen, aber dennoch gute postoperative Resultate zeigen. Nicht zuletzt wird der Benefit durch die multiprofessionelle und familiäre Unterstützung gefördert (84). Hinsichtlich der audiologischen Rehabilitation wird diskutiert, dass ein intensiviertes Trainieren von bottom-up-Prozessen (v.a. Sprachverstehen) zu einem Verstärken von top-down-Prozessen (v.a. kognitive Fähigkeiten) führen kann. Hierbei wurde insbesondere die neuronale Plastizität von Patienten mit ARHL als ursächlich beschrieben (89).

#### ***Auswirkungen auf das Sprachverstehen***

Hinsichtlich einer unilateralen Cochlea-Implantat-Versorgung konnten mehrere Studien eine signifikante Verbesserung des Sprachverstehens (im Störgeräusch) älterer Patienten nach 6 bzw. 12 Monaten postoperativ und darüber hinaus feststellen (90–94). So zeigten Dillon et al. (2013) in einer Langzeitbeobachtung bei 14 CI-Patienten (mindestens 65 Jahre alt) ein signifikant verbessertes Einsilbverstehen im Consonant-Nucleus-Consonant-Test nach einem Jahr postoperativ. Auch das Satzverstehen im Störgeräusch zeigte eine ähnlich signifikante Verbesserung nach einem Jahr postoperativ. Dabei wurde eine beginnende und stabile Verbesserung des Sprachverständnisses bereits nach 6 Monaten postoperativ beschrieben (93). Auch Büchsenschütz et al. (2015) konnten in einer Studie mit 29 Patienten  $\geq 70$  Jahre ähnliche Ergebnisse beobachten. Im Freiburger Einsilbertest

haben folglich fast alle Patienten ein präoperatives Einsilberverschöden von 0% (bei 65 dB) erzielt, was sich postoperativ nach 12 Monaten signifikant auf 50% verbesserte. Auch das Hören im Störgeräusch (Oldenburger Satztest) verbesserte sich in dieser Studie signifikant nach 12 Monaten postoperativ (95). Im Allgemeinen konnte gezeigt werden, dass ältere Patienten häufig vergleichbare Ergebnisse des Sprachverstehens nach CI-Versorgung aufwiesen wie jüngere Vergleichskohorten (96–98).

### ***Auswirkungen auf die Kognition***

Der Einfluss einer CI-Versorgung auf die kognitiven Fähigkeiten älterer Patienten geriet in den letzten Jahren zunehmend den Fokus der wissenschaftlichen Diskussion. Übereinstimmend fassen sämtliche Studien eine Verbesserung der kognitiven Fähigkeiten nach Cochlea-Implantat-Versorgung zusammen (82,83,99–105). So konnten Ergebnisse von Mosnier et al. (2015) festgehalten werden, wo 91 Patienten  $\geq 65$  Jahre mit Hilfe von 6 unterschiedlichen Kognitionstests (u.a. zur Prüfung des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses) untersucht worden sind. Es zeigte sich bei 81% der Patienten, die präoperativ niedrigere Kognitionsleistungen aufwiesen, eine Verbesserung der Kognition nach 12 Monaten postoperativ, wohingegen sich etwa ein Viertel der Patienten mit präoperativ höheren Kognitionsleistungen verschlechterte. Nach Mosnier et al. scheint insbesondere das exekutive Gedächtnis als Prädiktor für das postoperative Sprachverstehen im Störgeräusch zu fungieren (82). Neben der Verbesserung des Arbeitsgedächtnisses, konnte bei Jayakody et al. (2017) auch eine Verbesserung der Verarbeitungsgeschwindigkeit (gemessen am Reaction Time Test) nach 6 und 12 Monaten postoperativ beobachtet werden. Zur Begründung wurde vermutet, dass eine Verbesserung des Hörens zu einer Rehabilitation der Arbeitsgedächtniskapazität führt und somit zu einer Umkehr anderer beanspruchter kognitiver Ressourcen im Sinne der *Cognitive Load Theory* (83). Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse gaben die genannten Studien den Ausblick, dass zukünftige Studien die Ergebnisse untermauern und in der Langzeitbeobachtung reproduzieren sollten (82,83,99,102). Inwiefern die kognitiven Fähigkeiten eines Patienten bereits vor CI-Implantation einen Einfluss auf das Outcome zeigen, wurde bisher wenig untersucht. Mosnier et al. (2014) konnten diesbezüglich nur einen schwachen prädiktiven Einfluss der Kognition auf das CI-Outcome aufzeigen, wobei als Ausblick spezifische kognitive Parameter in Bezug auf das Sprachverstehen im Störgeräusch genauer untersucht werden sollten (85).

### ***Auswirkungen auf neuropsychiatrische Erkrankungen***

Unter Maßgabe der kognitiven Evaluation nach CI-Versorgung älterer Patienten, wird aktuell der Einfluss einer Hörverbesserung auf die Entschleunigung einer Demenzentwicklung diskutiert. Trotz verbesserter kognitiver Fähigkeiten nach CI-Versorgung, konnte bislang noch keine Kausalität zwischen einer Hörverbesserung und der Risikoreduktion einer Demenzentstehung beschrieben werden (102,106). Allerdings wurde in einigen Studien der Ausblick gegeben, dass eine CI-Versorgung über die Verbesserung der kognitiven Fähigkeiten und Lebensqualität (wie sozialer Interaktion), das Risiko einer Demenzerkrankung mildern könnte und weitere Untersuchungen dazu

notwendig seien (63,101,107,108). Dawes (2019) stellte fest, dass zukünftig längerfristig angelegte Studien das Demenzrisiko unter einer Hörverbesserung untersuchen sollten. Hierbei müsse insbesondere das kognitive Langzeit-Outcome in den Fokus gestellt werden (109). Eine solche Langzeituntersuchung wurde 2018 von Deal et al. als randomisierte Interventionsstudie initiiert. Hierbei wird gegenwärtig im Follow-Up über 3 Jahre das kognitive Outcome sowie das Demenzrisiko von 850 Patienten zwischen 70 und 84 Jahren untersucht. Daneben werden auch kontextbezogene strukturelle Veränderungen des Gehirns und die Lebensqualität (insbesondere die Aktivität und soziale Interaktion) erfasst (110).

Der Einfluss einer CI-Versorgung auf die Depressivität älterer Patienten konnte hingegen mehrfach dargestellt werden, wobei sich eine Verbesserung der depressiven Symptomatik älterer Patienten nach CI-Implantation zeigt (82,99,104,111). Poissant et al. (2008) konnten zudem feststellen, dass sich die Depressivitätsrate älterer Patienten nach CI-Implantation nicht wesentlich von der Depressivitätsrate einer jüngeren Vergleichsgruppe unterschieden hat. Unter anderem konnten Poissant et al. darüber hinaus eine Reduktion der sozialen Isolation als Grund für die verringerte postoperative Depressivität älterer Patienten evaluieren (111). Des Weiteren führten Mosnier et al. (2015) die allgemeine Verbesserung kognitiver Fähigkeiten als mögliche Ursache für die niedrigere postoperative Depressivität an (82).

#### ***Auswirkungen auf die Lebensqualität und weitere Aspekte***

Nach einer Hörverbesserung durch ein CI bei älteren Patienten ( $\geq 65$  Jahre), konnten verschiedene Untersuchungen zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität (HRQOL) eine signifikante, postoperative Verbesserung dieser zeigen (80–82,104,112–115). Dabei konnte eine Arbeit der eigenen Gruppe aus 2012 darstellen, dass die Verbesserung der Lebensqualität älterer Patienten postoperativ stärker anstieg als diejenige einer jüngeren Vergleichsgruppe. Daneben zeigte sich auch eine signifikante, postoperative Abnahme eines begleitenden Tinnitus bei abnehmenden Stressempfinden (113). Im Jahr 2016 konnte die eigene Arbeitsgruppe die Verbesserung der Lebensqualität über 70-jähriger Patienten mit Hilfe der Nijmegen Cochlea Implant Questionnaire (NCIQ) 6 Monate nach CI-Versorgung reproduzieren. Dabei zeigte sich eine jeweils signifikante Verbesserung aller Domänen der NCIQ (körperliche/psychische/soziale Funktion), unter anderem der sozialen Interaktion und Aktivität. Hierbei wurde als prägender Aspekt das verbesserte Sprachverständnis nach Implantation identifiziert (114). Weitere Studien konnten eine Verbesserung aller NCIQ-Domänen nach 6 Monaten stattgehabter CI-Versorgung bei älteren Patienten reproduzieren und den Zusammenhang zu einem verbesserten Sprachverstehen verifizieren (82,115).

## 2. Zielstellung

Bezüglich des CI-assoziierten Outcomes älterer Patienten  $\geq 65$  Jahren, beschreibt die gegenwärtige Literatur bereits eine Verbesserung des Sprachverstehens in Ruhe und im Störgeräusch, kognitiver Fähigkeiten und der Lebensqualität bei gleichzeitiger Abnahme von depressiven Symptomen. Insbesondere scheint hierbei die Bedeutung kognitiver Funktionen eine besondere Stellung einzunehmen, was in jüngerer Literatur beschrieben wurde. Dabei scheinen Sprachverstehen und Kognition miteinander zu korrelieren, wobei ein schlechtes Hörvermögen über die Reduktion kognitiver Fähigkeiten zu einem erhöhten Demenzrisiko führen kann. In diesem Kontext wird gegenwärtig untersucht, inwiefern eine Hörrehabilitation Einfluss auf die Risikoreduktion kognitiver Defizite und einer Demenz hat, wobei hier mehrere mögliche Optionen (Verbesserung kognitiver Fähigkeiten, Verbesserung von sozialer Interaktion und Abnahme von Depressivität) diskutiert werden. Dadurch, dass diese Erkenntnisse erst in den letzten Jahren zunehmend an Interesse gewonnen haben, ist die Studienlage zur differenzierten Betrachtung der kognitiven Parameter, deren Einflussgrößen und Auswirkungen nach CI-Versorgung älterer Patienten noch rar. So wird in der Literatur primär die Funktion des Sprachverstehens vor und nach Implantation auf das Arbeitsgedächtnis beschrieben. Andere assoziierte kognitive Fähigkeiten, wie die Verarbeitungsgeschwindigkeit, sind bezüglich ihrer Auswirkungen jedoch bisher kaum untersucht worden. Die Autoren der aktuellen Literatur zu diesem Thema gaben den Ausblick, dass die bisherigen Erkenntnisse durch weitere Untersuchungen untermauert und gegebenenfalls erweitert werden sollten, um die genauen Zusammenhänge zwischen Hörrehabilitation, Kognition und psychiatrischen Komorbiditäten hinreichend klären zu können.

In der vorliegenden prospektiven Arbeit soll der CI-Versorgungserfolg älterer Patienten in einem multimodalen Konzept mit besonderer Betrachtung der kognitiven Fähigkeiten untersucht werden. Hierbei soll insbesondere geklärt werden,

- ob ein verbessertes Hörvermögen nach CI-Versorgung zu einer Verbesserung der kognitiven Funktionen Arbeitsgedächtnis und Verarbeitungsgeschwindigkeit führt.
- welche Auswirkungen Depressivität und Lebensqualität (insbesondere im sozialen Bereich) auf die kognitiven Funktionen haben.
- welche Wechselwirkungen zwischen Depressivität, Lebensqualität, Hören und Kognition im Alter bestehen.

Diese Fragestellungen scheinen vor dem Hintergrund der stetig steigenden Inzidenz einer Demenz, dem potentiell reversiblen Risikofaktor der Hörstörung und der bisher überschaubaren Studienlage zur Wechselwirkung von Kognition, psychosozialen Einflüssen und Hörrehabilitation im Alter eine besondere Bedeutung zu haben.

### 3. Patientenkohorte und Methodik

#### 3.1. Patientenkohorte

In der vorliegenden prospektiven Arbeit wurden 33 postlingual an Taubheit grenzend schwerhörige Patienten im Alter von mindestens 65 Jahren einbezogen, welche in den Jahren 2015 bis 2018 in der HNO-Klinik der Charité Campus Virchow Klinikum mit einem unilateralen Cochlea-Implantat versorgt worden sind. Als grundlegende Indikation für eine CI-Versorgung wurden in der vorliegenden Studie ein asymmetrischer Hörverlust (engl. asymmetric hearing loss, AHL; interaurale Differenz von mindestens 15 dB im Reintonaudiogramm über verschiedene Frequenzen) und ein beidseitiger Hörverlust (engl. double-sided deafness, DSD) festgelegt. Des Weiteren ergaben sich neben der Tauglichkeit zur Operation auch psychometrische Voraussetzungen, die als Kriterien zum Studienein- oder Ausschluss herangezogen worden sind (s. Tabelle 1). Die Einschlusskriterien wurden anhand der Empfehlungen der genannten AWMF-Leitlinie „Cochlea-Implantat Versorgung und zentral-auditorische Implantate“ aus dem Jahr 2012 festgelegt (79). Alle Patienten erteilten ihr schriftliches Einverständnis zur Durchführung der Studie und wurden umfassend über Durchführung und Zweck der Studie aufgeklärt. Ein positives Votum der Ethikkommission der Charité Berlin zur Durchführung der Studie lag vor (EA2/030/13). Über die einbezogene Anzahl von 33 Patienten hinaus wurden initial noch weitere 12 Patienten inkludiert, welche jedoch aufgrund einer Lost to follow-up-Situation ausgeschlossen werden mussten. Ursächlich für den Studienausschluss waren Gründe wie Krankheit oder Tod des Patienten, der ausdrückliche Patientenwunsch, ein fehlender Entschluss zur CI-Operation oder das Ablehnen des CIs postoperativ.

**Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien**

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Muttersprache Deutsch Alter ≥ 65 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demenz</li> <li>• schwere Störungen der visuellen Wahrnehmung</li> <li>• Lost to follow-up (postoperative Erkrankung, Nichtnutzung des CIs)</li> </ul>
Postlingual an Taubheit grenzendes Hörvermögen <ul style="list-style-type: none"> <li>• ≤ 40% Sprachverstehen im Freiburger Einsilbertest</li> <li>• AHL oder DSD</li> </ul>	
Unilaterale CI – Versorgung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Präop. radiologische Diagnostik</li> <li>• Eignung zur Allgemeinanästhesie</li> <li>• Ausschluss retrocochleärer Pathologien</li> <li>• Eignung zur postoperativen Hör-Rehabilitation</li> </ul>	

### 3.2. Methodik

An sprachaudiometrischen Untersuchungen wurden der Freiburger Einsilbertest (ES) und der Oldenburger Satztest (OLSA) im Störgeräusch durchgeführt, um das Ausmaß des prä- und postoperativen Sprachverstehens zu objektivieren. Zur Erfassung der kognitiven Fähigkeiten, wie Arbeitsgedächtnis und Verarbeitungsgeschwindigkeit, wurden mit den Patienten Testbatterien der Wechsler Intelligence Scale for Adults der 4. Edition (WAIS-IV) durchgeführt. Weiterhin fand ein psychosoziales Assessment mittels standardisierter und validierter Fragebögen Verwendung. Eingesetzt wurden hierbei der Oldenburger Inventar-Fragebogen (OI) zur Evaluation des subjektiven Hörvermögens und die Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ) zur Beurteilung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Zudem wurde zum Ausschluss bzw. zur Beurteilung einer möglichen Depressivität die Allgemeine Depressionsskala - Langform (ADS-L) als Fragebogen herangezogen. Die Patienten wurden präoperativ, sowie im Follow-Up 6 Monate und 12 Monate postoperativ getestet (s. Abb. 3). Die WAIS-Tests erfolgten am Standort Charité Campus Virchow Klinikum, wo die Patienten einbestellt wurden. Der Austausch der Fragebögen erfolgte über den Postweg im selbstständigen Patienteninterview. Die Erhebung sprachaudiometrischer Daten erfolgte in audiologischer und logopädischer Zusammenarbeit mit dem Hörtherapiezentrum Oberlinhaus in Potsdam sowie dem Cochlear-Implant-Centrum Berlin Neukölln.

Ein Teil der in dieser Arbeit verwendeten Patientendaten (Rekrutierung von 17 Patienten und Erhebung der entsprechenden Daten zum Studieneinschluss/T0 bzw. bei 7 dieser Patienten Erhebung der Daten an T1) wurde bereits im Vorfeld durch die betreuende Arbeitsgruppe generiert und diente nach retrospektiver Einordnung als Grundlage für die eigenständige Datenerhebung. Darauf aufbauend fand die prospektive Erhebung aller weiteren Patientendaten im Rahmen des fortlaufenden Studieneinschlusses und der Follow-Up-Perioden statt. Die erhobenen Primärdaten wurden nach Zeitpunkt geordnet in eine Excel-Tabelle eingepflegt.

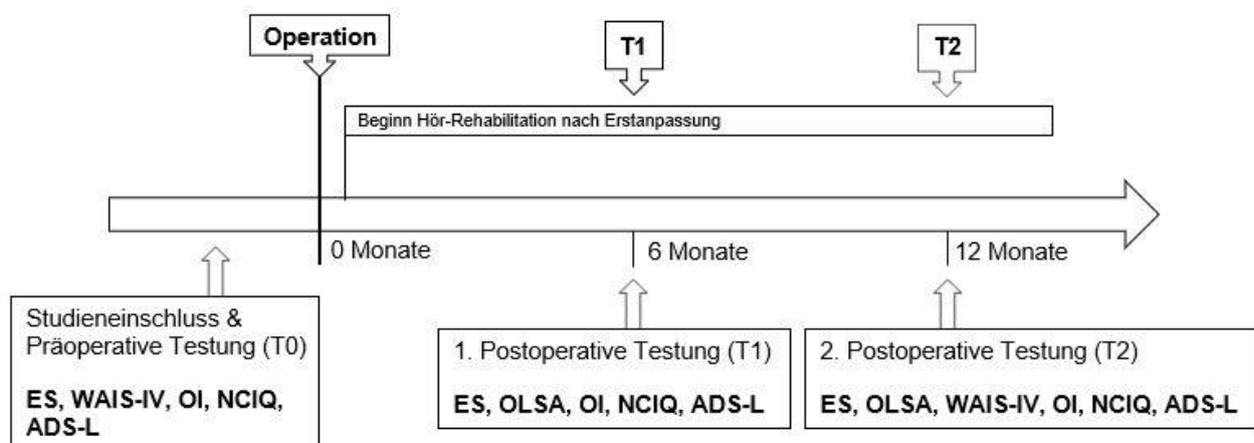


Abbildung 3: Studienablauf

### 3.2.1. Sprachaudiometrische Verfahren

Die Sprachaudiometrie ist eine audiometrische Untersuchung, welche die Sprachverständlichkeit erfasst. Dabei wird getestet, inwieweit eine Person auditorische Reize in Form von Lauten (beispielsweise Silben und Wörter) physiologisch wahrnehmen und wiedergeben kann. Das Sprachverstehen definiert die kognitive Umsetzung der gehörten Sprache als inhaltliches Erschließen und Begreifen. Demzufolge finden sprachaudiometrische Verfahren insbesondere in der Diagnostik alltagsrelevanter Hörstörungen und zur Anpassung von Hörgeräten Verwendung (116).

In der vorliegenden Arbeit wurde jeder Patient vor seiner Operation audiometrisch und mittels ES getestet. Die Erhebung der audiologischen Daten erfolgte im Rahmen der Evaluation für eine CI-Operation. Postoperativ-sprachaudiometrische Testungen (ES, OLSA) erfolgten 6 und 12 Monate nach Implantation im Rahmen der Hörrehabilitation.

Um das jeweils erkrankte Ohr zu testen, wurde das kontralaterale Ohr vertäubt. Postoperativ wurde nur das CI-tragende Ohr untersucht. Der Patient nahm in einer schalldichten Kabine mit einem Meter Abstand zu der Schallquelle Platz, über welche die Tests abgespielt worden sind. Bei der Schallquelle handelte es sich gemäß der Weißbuch-Empfehlungen zur sprachaudiometrischen Testung um Lautsprecher, die frontal vor dem Patienten platziert wurden (Sprache (S) und Störgeräusch (N) von 0°; S0N0) (79). Über ein entsprechendes PC-Programm konnten die Tests dargeboten werden. Dabei war es möglich, über ein Audiometriepult verschiedene Schallpegel einzustellen und Störgeräusche hinzuzufügen. Die erhobenen Sprachtestdaten dienten als grundlegende Einschätzung der Hörleistung der Patienten.

#### 3.2.1.1. Freiburger Einsilbertest

Der *Freiburger Einsilbertest* (ES) ist ein Sprachverständlichkeitstest, der 1953 von Karl-Heinz Hahlbrock vorgestellt wurde und die Begründung der Sprachaudiometrie begleitete (117). Der Test prüft die Fähigkeit zur auditiven Sprachdiskrimination und wird als Wortverständnistest in Prozent angegeben. Der Einsilbertest ist ein anerkanntes Testinstrument in der Audiometrie, nach DIN 4562-1 normiert und eignet sich insbesondere zur postoperativen Evaluation des Therapieerfolges von Cochlea-Implantationen (118). Gegliedert wird der Test in 20 Gruppen mit jeweils 20 einsilbigen Wörtern (zum Beispiel *Traum, Schreck, Leim*), die sich phonetisch ähneln können. Die Wortgruppen werden dem Patienten angeboten und der Patient soll das verstandene Wort wiedergeben. Eine hörgesunde Person würde bei einem Sprachschallpegel (SSP) von 65 dB, was einer normallauten Umgebungssprache entspricht, ein Einsilbenverständnis von nahezu 100% aufweisen (116). Die Durchführung des Einsilbertests erfolgte in der vorliegenden Arbeit mit dem SSP von 65 dB ohne Störgeräusch. Die Einsilbenworte wurden folglich über den Lautsprecher wiedergegeben und der Patient wurde gebeten, die verstandenen Wörter laut zu wiederholen. Abschließend erfolgte die prozentuale Berechnung der korrekt wiedergegebenen Wörter.

### 3.2.1.2. Oldenburger Satztest

Der *Oldenburger Satztest (OLSA)* ist ein Sprachverständlichkeitstest, der die Sprachverständlichkeitsschwelle in Ruhe und im Störgeräusch erfasst. Konzipiert wurde der OLSA von Wagener et al. im Jahr 1999 und stellt heutzutage insbesondere für die Hör-Rehabilitation von Cochlea-Implantat-Trägern eine wichtige verlaufsdiagnostische Option dar (119,120). Hintergrund dieses Tests ist, dass akustische Alltagssituationen und Alltagssprache bei Hörgeschädigten möglichst objektiv überprüft werden sollen, um eine Aussage über den Therapieerfolg oder die Höranpassung zu tätigen. Hierzu ist die Durchführung des Tests im Störgeräusch möglich. Dem Patienten werden einfache Sätze im Sprachschallpegel dargeboten, die von einem konstanten Rauschen im Störpegel intoniert werden. Auf dieser Grundlage erlaubt sich die Bestimmung der Sprachverständlichkeitsschwelle (SVS) im Störgeräusch. Die SVS ist definiert als Verhältnis von Sprachschallpegel zu Störpegel (Signal-Rausch-Abstand (S/N)), bei dem 50% der Wörter korrekt wiedergegeben werden. Je intakter das Gehör einer Testperson ist, desto kleiner fällt die SVS aus. Sie beträgt für eine normal hörende Person bei einem Störpegel von 65 dB minus 7,1 dB S/N (119,121).

Der Test besteht als Basis aus 10 Sätzen mit jeweils fünf Wörtern. Für den Patienten werden Sätze generiert, welche immer aus den einzelnen Satzgliedern *Name – Verb – Zahlwort – Adjektiv – Objekt* bestehen (s. Abb. 4). Die Generierung der Sätze erfolgt dabei zufällig, sodass auch semantisch sinnlose Sätze entstehen können. Durch die variable Gestaltung der Sätze, kann durch den ausbleibenden Lerneffekt eine Testobjektivität gewährleistet werden (119,121).

Name	Verb	Zahlwort	Adjektiv	Objekt
Peter	bekommt	drei	große	Blumen.
Kerstin	sieht	neun	kleine	Tassen.
Tanja	kauft	sieben	alte	Autos.
Ulrich	gibt	acht	nasse	Bilder.
Britta	schenkt	vier	schwere	Dosen.
Wolfgang	verleiht	fünf	grüne	Sessel.
Stefan	hat	zwei	teure	Messer.
Thomas	gewann	achtzehn	schöne	Schuhe.
Doris	nahm	zwölf	rote	Steine.
Nina	malt	elf	weiße	Ringe.

**Abbildung 4: Satzgliedelemente des OLSA** (modifiziert nach: 119; 121)

Der Störpegel der vorliegenden OLSA-Testungen wurde konstant mit 65 dB in S0N0-Situation festgelegt. Der Patient wurde aufgefordert, bei eingeschaltetem CI die verstandenen Sätze zu wiederholen. Jedes korrekt erkannte Wort wurde markiert. Entsprechend der Vorgabe des OLSA-Programms, wurde der Sprachschallpegel adaptiv verändert und für jeden Satz notiert. Bei korrekt erkannten Sätzen wurde der SSP reduziert, bei inkorrekt wiedergegebenen Sätzen (Verstehen von

einem oder keinem Wort) wurde der SSP angehoben. Nach 20 Sätzen erfolgte die Bildung eines SSP-Mittelwertes, von dem der definierte Störpegel von 65 dB subtrahiert wurde (121).

### **3.2.2. Wechsler Intelligence Scale for Adults, 4. Edition (WAIS-IV)**

Die *Wechsler Intelligence Scale for Adults – Fourth Edition (WAIS-IV)* ist eine Testbatterie zur diagnostischen Beurteilung der kognitiven Funktion von Jugendlichen und Erwachsenen, welche als angloamerikanische Originalfassung im Jahr 2008 erschien. Das Testkonzept basiert auf einer von dem Psychologen David Wechsler entwickelten Skalierung aus dem Jahr 1955, welche unter Verwendung verschiedener Einzeltests, Auskunft über das kognitive Leistungsprofil gibt (49 S.19,122). Die WAIS-IV, die als Weiterentwicklung ihrer Vorgängerversionen über ein differenzierteres Testen verschiedener Intelligenzindices verfügt, ist eines der weltweit am häufigsten verwendeten Testverfahren in der Intelligenzdiagnostik (49, S.11). Für die vorliegende Arbeit wurde die deutschsprachig-adaptierte Fassung der WAIS-IV von Franz Petermann aus dem Jahr 2012 verwendet, wobei über einen Zeitraum von sechs Monaten eine deutschsprachige Normstichprobe unter Rekrutierung von 1.700 Probanden erfolgte (49, S. 13).

#### **3.2.2.1. Anwendung bei Hörgeschädigten**

Unter Berücksichtigung bestimmter Leitlinien zur Testdurchführung, ist das diagnostische Spektrum der WAIS-IV auch an Probanden mit einer Hörbehinderung anwendbar (49, S. 38). Zu beachten sei, dass Kognitionstestungen möglichst unter Zuhilfenahme von persönlichen Hörgeräten durchgeführt werden sollten. Außerdem ergäben sich spezielle Anforderungen an die Testräumlichkeiten. So solle die Umgebung hell und möglichst schalldicht sein. Eine direkte Zuwendung zur Testperson könne die Möglichkeit des Lippenlesens bieten, welches unterstützend zur Aufgabenbewältigung legitim sei. Zudem solle die Interpretation der Ergebnisse in Zusammenschau mit audiometrischen Daten erfolgen (123). Die beschriebenen Empfehlungen wurden im vorliegenden Studiendesign berücksichtigt. Die Art der Instruktion erfolgte mit klarer und deutlicher Sprache und die Nutzung visueller Administrationen wurde vermieden. Bei der Auswahl der Untertests wurde darauf geachtet, dass Abweichungen in der Kommunikationsart (Lippenlesen) keinen bis wenig Einfluss auf die Testdurchführung hatten (49, S. 40f.).

#### **3.2.2.2. Struktur und Parameter**

In der aktuell gültigen Version der WAIS liegt der Schwerpunkt auf der separaten Messung der vier kognitiven Indices (Kernbatterien) Sprachverständnis, wahrnehmungsgebundenes logisches Denken, Arbeitsgedächtnis (AGD) und Verarbeitungsgeschwindigkeit (VG). Zudem lässt sich ein Gesamt-Intelligenzquotient als Maßgabe für den individuellen kognitiven Entwicklungsstand einer Person errechnen (s. Abb. 5). Auch für jeden einzelnen Index lässt sich ein Indexwert (IQ-Wert) errechnen, wobei in der vorliegenden Arbeit die Messung der Indices AGD und VG ausgewählt wurde.



**Abbildung 5: Struktur der WAIS-IV: Indices und Untertests** (modifiziert nach: Petermann, 2012) (49)

### **Arbeitsgedächtnis (AGD)**

Die Untertests der Kernbatterie Arbeitsgedächtnis lauten „Zahlen nachsprechen (ZN)“ und „Rechnerisches Denken RD“. Die Struktur des Untertests ZN lässt sich ihrerseits weiter unterteilen in „Zahlen nachsprechen vorwärts“, „Zahlen nachsprechen rückwärts“ und „Zahlen nachsprechen sequentiell“. Entsprechend der drei Anforderungsbereiche werden der zu testenden Person Zahlenreihen vorgelesen, die entweder in gleicher Reihenfolge (vorwärts), umgekehrter Reihenfolge (rückwärts) oder numerisch geordnet (sequentiell) wiedergegeben werden müssen. Die Besonderheit liegt darin, dass die Zahlen in jeder Ziffernfolge variieren und mit steigender Aufgabe um eine Ziffer ergänzt werden. Bei der Konzeption des Tests wurde darauf geachtet, semantische Ähnlichkeiten der Zahlenreihen zu vermeiden, um keinen Lerneffekt zu ermöglichen. Petermann beschreibt, dass das Nachsprechen von Zahlenfolgen neben einer kognitiven Flexibilität auch eine aktive Aufmerksamkeit und auditive Verarbeitung erfordere. Insbesondere die Testteile „Zahlen nachsprechen rückwärts“ und „Zahlen nachsprechen sequentiell“ würden darüber hinaus die Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses beanspruchen und eine mental-räumliche Vorstellungskraft erfordern (49, S.31).

Der Untertest RD unterteilt sich in 22 Rechenaufgaben, die dem Probanden als Textaufgaben vorgetragen werden. Aus der Betrachtung Petermanns geht hervor, dass sich das rechnerische Denken der oben genannten mentalen Manipulation bedient, um eine Lösungsstrategie zu entwickeln. Dies erfolgt im Zusammenhang mit Konzentration, Aufmerksamkeit und der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, um ein fluides Schlussfolgern zu ermöglichen (49, S.31).

### **Verarbeitungsgeschwindigkeit (VG)**

Die Kernbatterie Verarbeitungsgeschwindigkeit besteht aus den Untertests „Symbol-Suche (SYS)“ und „Zahlen-Symbol-Test (ZST)“.

Im Subtest SYS analysiert der Proband eine Reihe von fünf abstrakten Symbolen und Figuren. Ziel ist es, eines von zwei Referenzsymbolen zu erkennen, welche vor der Symbolreihe abgebildet sind. Im Anschluss soll das entsprechende Symbol in der Reihe gefunden und markiert werden. Petermann beschreibt bei diesem Test neben der Konzentration und des Kurzzeitgedächtnisses vor allem die

Notwendigkeit der visuellen Diskriminierung und mentalen sowie psychomotorischen Verarbeitungsgeschwindigkeit (49, S. 32f.).

Der Untertest ZST gliedert sich in eine Zahlen-Schlüsselsymbol-Legende und in ein Zahlenraster mit freien Feldern. Der Proband soll in einem fest definierten Zeitrahmen so viele Symbole wie möglich von der Legende ablesen, nach Möglichkeit im Arbeitsgedächtnis speichern und unter die im Raster vorgegebenen Zahlen zuordnend einzeichnen. Bei diesem Test beschreibt Petermann die Bedeutung des visuellen Kurzzeitgedächtnisses, der visuo-motorischen Koordination und der kognitiven Flexibilität (49, S.33).

### **3.2.2.3. Testgüte**

Standardisierte Instruktionen und konkrete Hinweise zur Testdurchführung im Manual sind ausführlich vorhanden und gewährleisten eine Durchführungsobjektivität. Daneben existieren Angaben zu möglichen Fehlern in der Durchführung. Zusammengefasste Hinweise zum Testablauf auf den Protokollbögen begleiten den Testleiter während der Testungen, ohne dass ein Nachschlagen im Manual stattfinden muss. Ebenso bestehen ausführliche Hinweise zur Auswertung, auch wenn die komplexen Verfahren zur Ergebnisanalyse fehlerbehaftet sein können. Durch die altersspezifischen Normierung der Werte ist eine Interpretationsobjektivität gegeben (124). Zudem besteht eine Objektivität hinsichtlich der Testwiederholung. Nach etwa einem Jahr lassen sich keine relevanten Lerneffekte bezogen auf die hier getesteten Untertest mehr feststellen (49, S.36). Die für diese Arbeit relevanten Indices Arbeitsgedächtnis und Verarbeitungsgeschwindigkeit erbrachten mittlere Reliabilitätskoeffizienten von Alpha (AGD) = .94 beziehungsweise Alpha (VG) = .90 (49, S.83f.)

### **3.2.2.4. Testdurchführung**

Die Testdurchführung erfolgte nach einem standardisierten WAIS-IV Manual am Standort Virchow-Klinikum. Jeder Patient wurde präoperativ und 12 Monate postoperativ getestet. Alle Patienten wurden zu den einzelnen Messzeitpunkten unter qualitativ konstanten Bedingungen (schalldichte Räumlichkeit, gute Lichtverhältnisse) getestet. Auf die Verwendung von Hörgeräten und Brillen wurde hingewiesen. Darüber hinaus wurde jedem Patienten der Ablauf des Tests vor der Durchführung erläutert. Entsprechend der oben genannten Empfehlungen, wurden Aufgabeninstruktionen in verständlicher Sprache dargelegt.

Jeder der vier Untertests bot die Möglichkeit, eine Demonstrations- und eine Übungsaufgabe durchzuführen. Die Demonstrationsaufgabe wurde vom Testleiter simuliert, um dem Patienten die Aufgabenstellung vorzuführen und das Aufgabenverständnis näher zu bringen. In der nachfolgenden Übungsaufgabe wurde dem Patienten das eigenständige Bearbeiten der Aufgabe unter möglicher Korrekturintervention seitens des Testleiters gewährt. Zunächst erfolgte die Feststellung des Alters der Testperson, des Testdatums und des Testzeitpunktes im Studiendesign. Anschließend wurden die Untertests in folgender Reihenfolge durchgeführt:

1. Zahlen nachsprechen (ZN)
  - Zahlen nachsprechen vorwärts (ZN-V)
  - Zahlen nachsprechen rückwärts (ZN-R)
  - Zahlen nachsprechen sequentiell (ZN-S)
2. Rechnerisches Denken (RD)
3. Symbol-Suche (SYS)
4. Zahlen-Symbol-Test (ZST)

### **Zahlen nachsprechen**

Beim Test „Zahlen nachsprechen vorwärts (ZN-V)“ wurden der Testperson je Aufgabe zwei gleich lange Ziffernfolgen vorgelesen. Dabei wurde jede Ziffernfolge einzeln vorgelesen und der Patient sollte dieselbe Reihenfolge wiederholen. Für jede korrekt wiedergegebene Ziffernfolge erhielt der Patient einen Punkt, der auf dem Protokollbogen vermerkt wurde. Wurde eine Ziffernfolge falsch, unvollständig, nach 30 Sekunden oder gar nicht wiedergegeben, erhielt der Patient keinen Punkt. Hat die Testperson mindestens *eine* Ziffernfolge einer Aufgabe korrekt wiedergegeben (also mindestens einen Punkt pro Aufgabe erlangt), konnte mit der nächsten Aufgabe fortgeführt werden. Sofern *beide* Ziffernfolgen *einer* Aufgabe mit null Punkten bewertet worden sind, wurde der Test an dieser Stelle beendet. Die bis dahin erreichten Punkte wurden folglich als Rohwert festgelegt und es wurde mit dem nächsten Test fortgefahren. Das Vorlesen der Zahlenreihen erfolgte mit einer einheitlichen Wiedergabefrequenz von einer Zahl pro Sekunde. Eine Wiederholung der Zahlenreihe als Hilfestellung seitens des Testleiters war nicht möglich. Im ZN-V konnten maximal 16 Rohwertpunkte erreicht werden, sofern alle Aufgaben richtig bearbeitet worden sind (125, S.60-65).

Der Test „Zahlen nachsprechen rückwärts (ZN-R)“ unterlag den gleichen Durchführungsbeziehungswise Abbruchkriterien und wurde an zweiter Stelle absolviert. Auch hier wurden dem Patienten zwei Zahlenreihen pro Aufgabe vorgelesen. Die Ziffern sollten nun invers wiedergegeben werden. Wenn der Patient die Ziffern in umgekehrter Reihenfolge ohne Fehler wiedergegeben hat, wurde die entsprechende Zahlenfolge mit einem Punkt bewertet. Im ZN-R konnten maximal 16 Rohwertpunkte erreicht werden, sofern alle Aufgaben richtig bearbeitet worden sind (125, S.62ff.).

Der letzte Test „Zahlen nachsprechen sequentiell (ZN-S)“ unterlag den gleichen Durchführungsbeziehungswise Abbruchkriterien. Der Patient wurde aufgefordert, die vorgelesenen Zahlenreihen numerisch aufsteigend geordnet zu wiederholen. Somit sollte die kleinste Ziffer zuerst, die größte zuletzt wiedergegeben werden. Kam eine Ziffer mehrfach vor, sollte diese auch mehrfach wiedergegeben werden. Wenn die Ziffernfolge vollständig und korrekt geordnet wiedergegeben worden war, erhielt der Patient einen Punkt. Im ZN-S konnten ebenfalls maximal 16 Rohwertpunkte erreicht werden (125, S.65). Im gesamten Untertest „Zahlen nachsprechen“ konnten maximal 3 x 16 Punkte, also 48 Rohwertpunkte, erreicht werden. Die erreichte Summe wurde auf dem Protokollbogen vermerkt.

### **Rechnerisches Denken**

Im zweiten Untertest „Rechnerisches Denken“ wurden der Testperson Textaufgaben vorgelesen, die einer Kopfrechnung mit konkretem Ergebnis bedurften. Insgesamt standen 22 Aufgaben zur Verfügung, die fünf ersten Aufgaben davon mit einem visuellen Stimulus. Das Manual stellte zwei mögliche Startpunkte des Tests zur Option. Zum einen konnte ab Frage 1 begonnen werden (unter Nutzung der visuellen Stimuli), wenn eine Intelligenzminderung bei einem Patienten vermutet wurde. Zum anderen konnte ab Frage 6 begonnen werden, wenn keine Intelligenzminderung vermutet wurde. Die Aufgabenstellung dieses Tests begann in dem vorliegenden Versuchsaufbau erst mit der sechsten Textaufgabe, da eine Intelligenzminderung mit dem Studieneinschluss nicht vereinbar war. Da der Startpunkt ab Frage 6 erfolgte, wurden die ersten fünf Fragen automatisch und methodengerecht als richtig beantwortet in die Wertung einbezogen. Somit standen 17 Fragen aktiv zur Bearbeitung.

Der Testperson wurden die Textaufgaben langsam und deutlich vorgetragen, wobei jede Textaufgabe ein eindeutiges Zahlenergebnis erforderte. Etwaige Einheiten mussten nicht genannt werden. Eine einmalige Wiederholung der Textaufgabe war auf Wunsch der Testperson möglich. Die Verwendung von Hilfsmitteln (Taschenrechner, Papier, Stifte) war hingegen untersagt. Für die Bearbeitung einer Textaufgabe galt ein fest definiertes Zeitfenster von 30 Sekunden. Die Zeit wurde direkt nach dem Vorlesen der Textaufgabe mit Hilfe einer Stoppuhr festgehalten. Konnte der Patient die Textaufgabe lösen, indem er das geforderte Ergebnis verbal nannte, wurde die Aufgabe mit einem Punkt bewertet. Wurde ein falsches beziehungsweise kein Ergebnis genannt oder konnte die Aufgabe innerhalb der 30 Sekunden nicht gelöst werden, wurde entsprechend mit null Punkten bewertet. Die erreichten Punkte und die jeweilige Bearbeitungszeit für die einzelnen Aufgaben wurden auf dem Protokollbogen vermerkt. Bei *drei aufeinanderfolgenden* Bewertungen mit null Punkten wurde der Test beendet. Die bis dahin erreichten Punkte wurden mit den Ausgangspunkten addiert und als Rohwertsumme festgehalten. Sofern alle Fragen richtig beantwortet wurden, konnten maximal 22 Punkte als Rohwertsumme auf dem Protokoll gutgeschrieben werden (125, S.97-102).

### **Symbol-Suche**

Bei diesem Test wurde der Patient aufgefordert, eine Symbolreihe (= Suchgruppe) mit fünf Symbolen zu analysieren, wobei genau ein Referenzsymbol (= Zielsymbol) zu finden und nachfolgend zu markieren war. Vor jeder Symbolreihe fanden sich zwei grau hinterlegte Referenzsymbole (s. Abb. 6). Es bestand die Möglichkeit, dass entweder eines der Referenzsymbole in der Reihe auftritt oder keines. In letzterem Fall sollte ein am Ende der Reihe abgebildetes Feld mit dem Wort „Nein“ markiert werden. Wurde korrekt markiert, galt die Symbolreihe als „richtig“ gewertet. Der Patient unterlag einem fest definierten Zeitfenster, in welchem er so viele Symbole wie möglich erkennen und markieren sollte. Insgesamt standen 60 Symbolreihen zur Verfügung. Die Symbole waren wiederkehrend, zufällig angeordnet und variierten hinsichtlich ihrer Form und Reihenfolge. Das Abbruchkriterium dieses Tests war eine Zeitbeschränkung von 120 Sekunden. Die Messung der Zeit erfolgte mit einer

Stoppuhr, nachdem die Testanleitung und Übungsaufgaben demonstriert wurden. Innerhalb des Zeitfensters konnten Fehlmarkierungen durch den Patienten korrigiert werden.

Die Auswertung der markierten Symbole erfolgte mit Hilfe einer standardisierten Testschablone. Jedes korrekt erkannte Item wurde mit einem Punkt honoriert. Für jedes falsch markierte Item wurde ein Malus-Punkt vergeben. Nachdem alle Punkte vergeben worden waren, erfolgte die Subtraktion der Malus-Punkte von den Honorar-Punkten. Die Differenz wurde als erreichte Rohwertpunktsumme auf dem Protokollbogen vermerkt (125, S.103-108).

Diese Abbildung wird aus urheberrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

**Abbildung 6: Beispielaufgaben des Tests „Symbol-Suche“ (126)**

### **Zahlen-Symbol-Test**

Bei diesem Untertest sollte der Patient anhand eines Zahlen-Symbol-Schlüssels (= Legende) bestimmte Symbole auf ein darunterstehendes Raster übertragen. Innerhalb der Legende wurde den Ziffern 1 bis 9 ein anderes Symbol zugeordnet. Das Raster gliederte sich in 135 freie Felder, wobei über jedem Feld eine andere Ziffer stand (s. Abb. 7). Der Patient sollte diese Ziffern entsprechend der Legende in das passende Symbol übersetzen und dieses in das freie Rasterfeld einzeichnen. Dazu war zwingend erforderlich, dass die Testperson die Felder in der vorgegebenen Reihenfolge bearbeitete. Korrekturen waren innerhalb des Zeitfensters durch den Patienten möglich, eine Hilfestellung durch den Testleiter jedoch nicht. Ein Symbol galt als richtig übertragen, wenn es unter die entsprechenden Ziffer gezeichnet wurde und als solches erkennbar war. Das Abbruchkriterium dieses Tests war ebenfalls eine Zeitbeschränkung von 120 Sekunden. Die Messung der Zeit erfolgte mit einer Stoppuhr, nachdem die Testanleitung und Übungsaufgaben demonstriert wurden. Die Auswertung erfolgte ebenfalls mit einer standardisierten Testschablone. Die Schablone wurde auf das ausgefüllte Zahlenraster gelegt. Falsch eingezeichnete Symbole wurden herausgestrichen. Alle korrekt eingezeichneten Symbole wurden mit jeweils einem Punkt honoriert, zusammengezählt und als Rohwertpunktsumme (maximal 135 in diesem Test) übertragen (125, S.127-130).

Diese Abbildung wird aus urheberrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

**Abbildung 7: Auszug aus dem „Zahlen-Symbol-Test“ (126)**

### **3.2.3. Fragebogeninventar**

Zur Cochlea-Implantat-spezifischen Erfassung von Lebensqualität, subjektivem Hörvermögen im Alltag und psychischer Komorbidität wurden in dieser Arbeit folgende Fragebögen verwendet: Die Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ), der Oldenburger Inventar-Fragebogen (OI) und der Fragebogen zur Allgemeinen Depressionsskala (ADS-L). Die Patienten waren angehalten, die jeweiligen Bögen präoperativ und 6 sowie 12 Monate postoperativ (mit CI) als selbstständiges Interview auszufüllen.

#### **3.2.3.1. Oldenburger Inventar-Fragebogen**

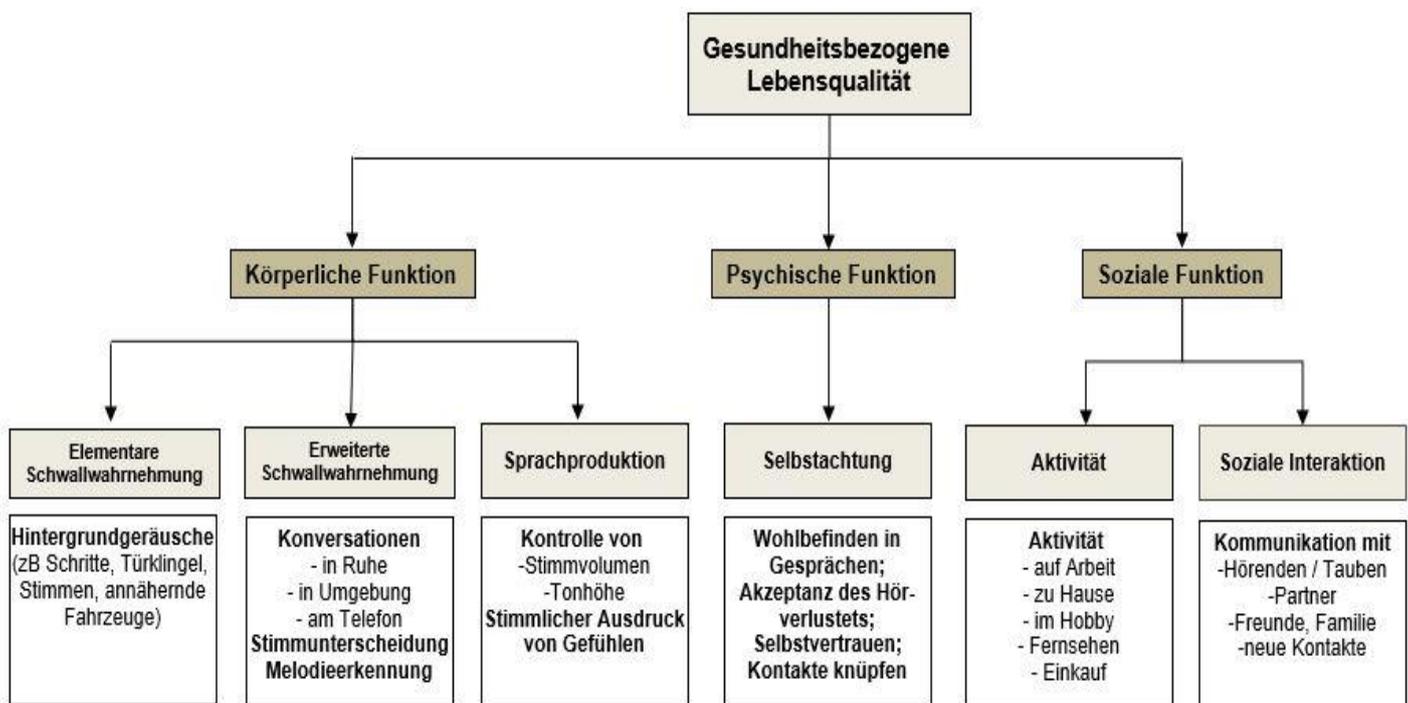
Der Ansatz des *Oldenburger Inventar-Fragebogens (OI)* ist die subjektive Selbsteinschätzung des Hörvermögens. Entwickelt von Holube & Kollmeier aus Oldenburg, wurde er im Jahr 1991 erstmalig als „Fragebogen zur subjektiven Bewertung einer Schwerhörigkeit“ vorgestellt (127). Die Autoren beschrieben, dass es bis dato nur audiometrische Testverfahren zur objektiven Beurteilung der Hörleistung gegeben habe, die jedoch nicht die Haltung des Patienten zu seiner Hörstörung und mögliche Einflussfaktoren wie Umgebung und Tageszeit widerspiegeln hätten (127). Der daraufhin konzipierte OI besteht aus 21 Fragen (Items) zu alltäglichen Hörsituationen (beispielsweise Hören in Ruhe / im Störgeräusch, psychosoziale Hörfaktoren, Reaktion auf Umgebungsgeräusche) und wurde im Jahr 1994 von den Autoren hinsichtlich der Aussagekraft seiner Fragen modifiziert (128). Darüber hinaus existiert eine kürzere Version des OI mit 12 Items (OI – R), die hinsichtlich der Antwortmöglichkeiten zweizeilig (mit bzw. ohne Hörgerät) oder einzeilig aufgebaut ist.

Der in dieser Arbeit verwendete OI - R bildet sich aus 5 Items zur Domäne „Hören in Ruhe“; aus 5 Items zur Domäne „Hören im Störgeräusch“ und aus 2 Items zur Domäne „Richtungshören“. Jedes Item bietet die folgenden Antwortmöglichkeiten: „immer“, „oft“, „selten“, „manchmal“, „nie“ und „Die Situation kenne ich nicht.“, wobei die Items in unterschiedlicher Reihenfolge erfragt werden. Der Patient wird gebeten, eine möglichst zutreffende Antwort anzukreuzen. Eine Fünf-Punkte-Skala erlaubt folglich die Berechnung eines Scores für jede Domäne und eines Gesamtscores: „immer“ = 5 Punkte; „oft“ = 4 Punkte; „selten“ = 3 Punkte; „manchmal“ = 2 Punkte und „nie“ = 1 Punkt. Sofern ein

Patient keine Angabe tätigen kann („Die Situation kenne ich nicht.“), wird die entsprechende Frage in der Ermittlung des Scores nicht berücksichtigt. Der erreichte Score wird folglich in einen Prozentsatz umgerechnet. Bedingt durch die quantitative Punkteskalierung der Antwortmöglichkeiten, bedeutet ein höherer Prozentsatz ein besseres subjektives Hörempfinden. Aufgrund der Möglichkeit zur Verlaufskontrolle einer Hörstörung und Vergleichbarkeit, wurde in der vorliegenden Arbeit die beschriebene Version des einzeiligen Oldenburger Inventar – R mit 12 Items verwendet (129).

### 3.2.3.2. Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire

Die *Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire (NCIQ)* ist ein validierter, standardisierter Fragebogen für Patienten mit CI, welcher die Evaluation der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (health-related quality of life, HRQOL) in den Hauptdomänen „Körperliche Funktion“, „Psychische Funktion“ und „Soziale Funktion“ erlaubt. Konzipiert im Jahr 2000 von Hinderink, Krabbe und van den Broek, dient die NCIQ heute als Selbstbeurteilungsinstrument für erwachsene CI-Träger (130).



**Abbildung 8: Hauptdomänen, Subdomänen und Items der NCIQ** (modifiziert nach: Hinderink et al.) (130)

Der Fragebogen untergliedert sich weiterhin in 6 Subdomänen, die ihrerseits spezifische Items berücksichtigen. Die Hauptdomäne „Körperliche Funktion“ umfasst die Subdomänen „Elementare Schwallwahrnehmung“; „Erweiterte Schwallwahrnehmung“ und „Sprachproduktion“. Die zweite Hauptdomäne „Psychische Funktion“ beinhaltet die Subdomäne „Selbstachtung“. Die dritte Hauptdomäne „Soziale Funktion“ lässt sich untergliedern in „Aktivität“ und „Soziale Interaktion“ (s. Abb. 8). Jeder der 6 Subdomänen werden bezugnehmend auf ihre Items 10 Fragen zugeordnet,

sodass sich die NCIQ über 60 Fragen erstreckt. Die postoperative NCIQ wird zudem noch um zwei Zusatzfragen (Tragedauer, Zufriedenheit mit CI) erweitert (130).

Bei der NCIQ wird dem Patienten die Möglichkeit geboten, eine quantitative Beantwortung jeder Frage vorzunehmen: „nie“; „manchmal“; „selten“; „oft“ und „immer“ bzw. „keine Antwort“ (Fragen 1 bis 55). Die letzten 5 Fragen des Fragebogens erfordern eine qualitative Beantwortung, daher differieren die Antwortmöglichkeiten wie folgt: „nein“; „schwer“; „einigermaßen“; „gut“; „sehr gut“ bzw. „keine Antwort“. Die folgende Punkte-Skala wird zur Auswertung der NCIQ herangezogen: „nie bzw. nein“ = 0 Punkte; „manchmal bzw. schwer“ = 25 Punkte; „selten bzw. einigermaßen“ = 50 Punkte; „oft bzw. gut“ = 75 Punkte; „immer bzw. sehr gut“ = 100 Punkte und „keine Antwort“ = keine Wertung. Bei insgesamt 33 Fragen wird die Fragestellung der jeweiligen Items positiv formuliert, sodass die Antwort „immer“ die bestmögliche ist. Dahingegen sind 27 Fragen invers formuliert, sodass die Antwort „nie“ die günstigste Bedeutung hat (130). Nachfolgend werden zwei Fragen (positiv und invers formuliert) zur Veranschaulichung dargestellt:

- *„Können Sie in ruhiger Umgebung mit einer Person ein Gespräch führen?“ (79)*  
(Eine normal hörende Person würde „immer“ (100 Punkte) angeben.)
- *„Ist Ihre Hörbeeinträchtigung ein schwerwiegendes Problem beim Einkaufen?“ (79)*  
(Eine normal hörende Person würde „nie“ (0 Punkte) angeben.)

Für jede Subdomäne wird abschließend ein Score gebildet (Mittelwert). Durch Umkodierung der invers gestellten Fragen ergibt sich in der Gesamtheit die Relation: hoher NCIQ-Score = bessere Lebensqualität in der entsprechenden Subdomäne. Zur Berechnung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität ist auch die Berechnung eines Gesamtscores aus den Scores der Subdomänen ist möglich (130).

### **3.2.3.3. Allgemeine Depressionsskala – Langform**

Die *Allgemeine Depressionsskala in der Langform (ADS-L)* ist ein Selbsttest zum Screening auf depressive Symptome. Die in dieser Arbeit verwendete deutschsprachige Fassung wurde von Hautzinger et al. im Jahr 2012 neu normiert (131).

Der Test besteht aus 20 Items, die die Häufigkeit depressiver Symptome erfassen. Sechszehn dieser Items erfragen durch eine (inhaltlich) negative Formulierung eine depressive Symptomatik, 4 Items sind zum Depressionsausschluss positiv formuliert (inverse Items). Neun der negativ formulierten Items erfassen affektive Symptome (Stimmung, Antrieb, Angst, Trauer), zwei Items kognitive Symptome (Konzentration, Aufmerksamkeit), zwei Items somatische Symptome (Appetit, Schlaf) und drei Items soziale Komponenten.

Die Antwortmöglichkeiten skalieren sich in „selten“ (< 1 Tag/Woche), „manchmal“ (1-2 Tage/Woche), „öfters“ (3-4 Tage/Woche) und „meistens“ (5-7 Tage/Woche). Der Patient soll je Item eine der vorgegebenen Antworten angeben. Folgende Vier-Punkte-Skala dient zur Auswertung des Fragebogens: „selten“ = 0 Punkte; „manchmal“ = 1 Punkt; „öfters“ = 2 Punkte und „meistens“ = 3 Punkte. Im Gesamtscore sind maximal 60 Punkte erreichbar. Ein Patient, der keine depressive Symptomatik aufweist, würde bei den vier positiv formulierten (inversen) Items eine hohe Punktzahl erreichen. Bei den 16 negativ formulierten Items, die auf eine depressive Symptomatik abzielen, würde er eine niedrige Punktzahl erlangen. Ein depressiver Patient würde bei den 16 negativ formulierten Items hingegen eine hohe Punktzahl erreichen. Höhere Werte zeigen folglich eine stärkere Depressivität an. Der Cut-Off für Depressivität wurde mit > 23 Punkten definiert (131,132).

### **3.3. Statistische Auswertung**

Die Aufarbeitung der WAIS-Rohwerte erfolgte mit Hilfe der WAIS IV-Originalsoftware zur automatischen Testanalyse, wobei die ermittelten Rohwertsummen der Untertests je Index in Wertsummenpunkte umgerechnet worden sind. Anhand der Wertsummenpunkte erfolgte die Berechnung von Indexwerten (= IQ-Werte) für Arbeitsgedächtnis und Verarbeitungsgeschwindigkeit, sowie die Zuordnung zu Prozenträngen.

Die statistische Auswertung aller Patientendaten erfolgte mit Hilfe des Programms SPSS Statistics Version 26<sup>®</sup> der Firma IBM. Zunächst wurden die Daten mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für nicht-normalverteilte, verbundene Stichproben ausgewertet, um prä- und postoperative Unterschiede und Mittelwertvergleiche darzustellen. Die Rangkorrelationsanalyse nach Spearman wurde zur Darstellung von Korrelationen zwischen Sprachtestdaten, Fragebogendaten und WAIS-Index- und Rohwerten herangezogen. Darüber hinaus wurden mittels linearen Regressionsanalysen mögliche Zusammenhänge spezifiziert. Für alle durchgeführten statistischen Verfahren wurde das Signifikanzniveau mit  $p \leq 0,05$  für signifikante Ergebnisse und  $p \leq 0,01$  für hochsignifikante Ergebnisse festgelegt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Demographische Daten und Patientenkohorte

In die Auswertung wurden 33 Patienten einbezogen. Betrachtet wurden 19 weibliche (57,58%) und 14 männliche (42,42%) Patienten. Das daraus ermittelte Geschlechterverhältnis männlich : weiblich stellte sich mit 1 : 1,36 dar. Hinsichtlich der Ertaubungsseite zeigte sich bei 15 Patienten (45,45%) ein asymmetrischer Hörverlust (AHL), bei 18 Patienten (54,55%) eine beidseitige Ertaubung (DSD).

#### 4.1.1. Altersverteilung bei Testeinschluss

Das durchschnittliche Alter bei Testeinschluss betrug  $76,10 \pm 4,98$  Jahre (range: 66,49 - 87,87 Jahre; Median: 75,86), wobei die meisten Patienten (69,69%) zwischen 70 und 80 Jahre alt waren (s. Abb. 9). Im Mittel vergingen 39,59 Tage (range: 0 – 212 Tage) zwischen Testeinschluss und Cochlea-Implantation, wobei bei einer Patientin die Implantation 16,8 Monate nach Testeinschluss erfolgte. Die Patienten erhielten gemittelt mit  $76,20 \pm 4,96$  Jahren (range: 66,54 – 87,82 Jahre; Median: 75,90;  $MW_m$ : 77,31 Jahre;  $MW_w$ : 75,38 Jahre) ihr Cochlea-Implantat.

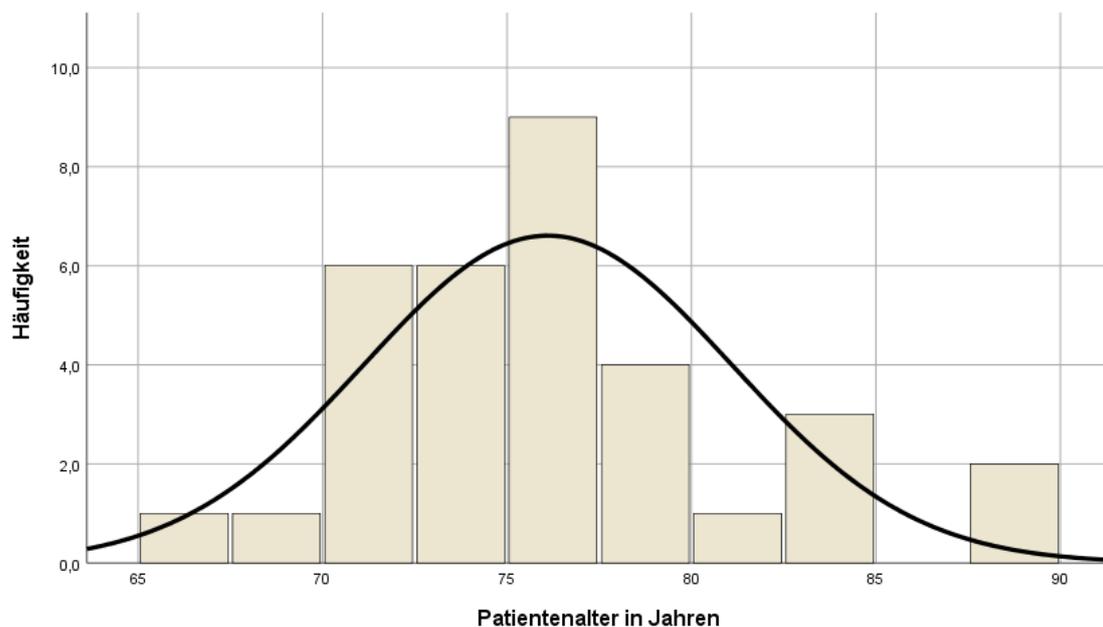


Abbildung 9: Kurve der Altersverteilung bei Testeinschluss (n = 33)

### 4.2. Sprachaudiometrie zur Beurteilung des Sprachverstehens

Zur Beurteilung des Sprachverstehens fand der Freiburger Einsilbertest präoperativ (T0), als auch 6 Monate (T1) und 12 Monate (T2) postoperativ Verwendung. Zusätzlich erfolgte die Überprüfung der SVS im Störgeräusch (OLSA) jeweils 6 Monate postoperativ (T1) und 12 Monate postoperativ (T2). Die Anzahl der ausgewerteten Patientendaten variierte aufgrund der Compliance in der älteren Patientenkohorte zu den Messzeitpunkten.

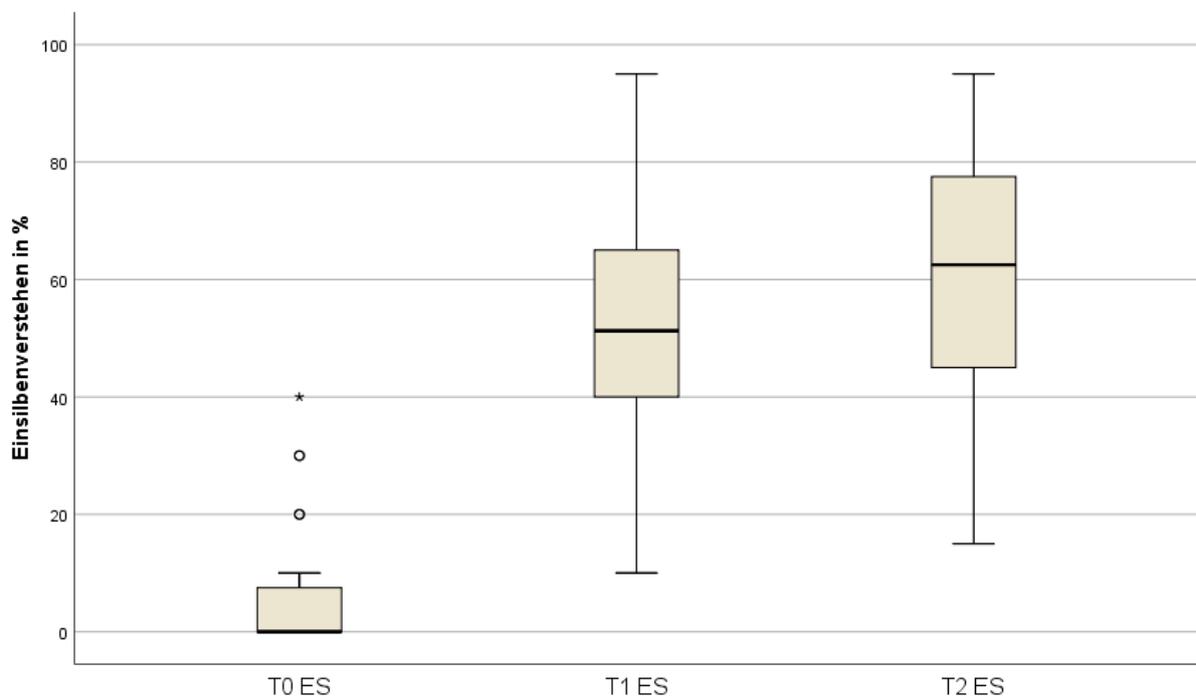
#### 4.2.1. Freiburger Einsilbertest

Präoperativ (T0<sub>ES</sub>) wurde bei 32 Patienten der ES mit 65 dB SSP durchgeführt, wobei ein Mittelwert von 5,94% ± 10,96 % (range: 0 – 40%) erreicht wurde. Im Follow-Up nach 6 Monaten (T1<sub>ES</sub>) wurde der ES mit 65 dB SSP bei 31 Patienten wiederholt, wobei der Mittelwert auf 52,98% ± 21,04% (range: 10 – 95%; Median: 52,50%) anstieg. Nach 12 Monaten postoperativ (T2<sub>ES</sub>) ließ sich bei 31 Patienten weiterhin ein Anstieg des Mittelwertes auf 59,68% ± 20,81% (range: 15 – 95%; Median: 65,00%) beobachten (s. Abb. 10). Für das operierte Ohr zeigte sich jeweils eine hochsignifikante Verbesserung des Einsilbenverstehens nach 6 Monaten (um durchschnittlich 47,04%) sowie nach 12 Monaten (um durchschnittlich 53,74%) postoperativ. Zwischen den Zeitpunkten T1<sub>ES</sub> und T2<sub>ES</sub> konnte eine signifikante Verbesserung des Einsilbenverstehens festgestellt werden (s. Tabelle 2).

**Tabelle 2: Freiburger Einsilbertest: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz**

Freiburger Einsilbertest	T0 <sub>ES</sub>	T1 <sub>ES</sub>	p Signifikanz <sup>a</sup>
Mittelwert (SD)	5,94 (10,96)	52,98** (21,04)	< 0,01
Freiburger Einsilbertest	T1 <sub>ES</sub>	T2 <sub>ES</sub>	p Signifikanz <sup>a</sup>
Mittelwert (SD)	52,98 (21,04)	59,68* (20,81)	< 0,05
Freiburger Einsilbertest	T0 <sub>ES</sub>	T2 <sub>ES</sub>	p Signifikanz <sup>a</sup>
Mittelwert (SD)	5,94 (11,22)	59,68** (20,81)	< 0,01

<sup>a</sup> asymptotische Signifikanz basierend auf Wilcoxon-Test: signifikant\* (p ≤ 0,05) und hochsignifikant\*\* (p ≤ 0,01)



**Abbildung 10: Darstellung des Einsilbenverstehens an T0<sub>ES</sub>, T1<sub>ES</sub> und T2<sub>ES</sub>**

#### 4.2.2. Oldenburger Satztest

Bei 29 Patienten wurde der OLSA mit eingeschaltetem CI initial nach 6 Monaten postoperativ (T1<sub>OLSA</sub>) durchgeführt und nach 12 Monaten postoperativ (T2<sub>OLSA</sub>) wiederholt. Zum Zeitpunkt T1<sub>OLSA</sub> wurde ein SVS-Mittelwert von 1,53 ± 4,09 dB S/N (range: -12,6 – 11,0; Median: 1,70) erreicht. Zum Zeitpunkt T2<sub>OLSA</sub> wurde bei 29 getesteten Patienten ein geringerer SVS-Mittelwert von 0,53 ± 3,86 dB S/N (range: -12,0 – 6,00; Median: 0,40) erzielt.

Es zeigte sich eine signifikante Verringerung der Sprachverständlichkeitsschwelle nach 12 Monaten postoperativ um eine Mittelwertdifferenz von 0,99 (s. Tabelle 3). Bei 16 Patienten (59,26%) verbesserte sich das OLSA-Sprachverstehen, bei 9 Patienten (33,33%) verschlechterte es sich hingegen. Bei 2 Patienten (7,41%) veränderte sich die SVS zum Zeitpunkt T2<sub>OLSA</sub> nicht.

**Tabelle 3: Oldenburger Satztest: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz**

Oldenburger Satztest	T1 <sub>OLSA</sub>	T2 <sub>OLSA</sub>	p Signifikanz <sup>a</sup>
Mittelwert (SD)	1,53 (4,09)	0,53* (3,86)	< 0,05

<sup>a</sup> asymptotische Signifikanz basierend auf Wilcoxon-Test: signifikant\* (p ≤ 0,05) und hochsignifikant\*\* (p ≤ 0,01)

#### 4.3. Fragebögen zur Beurteilung der subjektiven Hörleistung, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der Depressivität

Zur Auswertung der NCIQ (HRQOL), des OI (subjektives Hörvermögen) und der ADS-L (depressive Symptomatik) wurden die Daten zu den gegebenen Messzeitpunkten erhoben. Auch hier variierte die Anzahl ausgewerteter Fragebögen zu den Messzeitpunkten aufgrund der Patientencompliance.

##### 4.3.1. Oldenburger Inventar – Fragebogen

Der Oldenburger Inventar – Fragebogen wurde zu den jeweiligen Messzeitpunkten präoperativ (T0<sub>OI</sub>), 6 Monate postoperativ (T1<sub>OI</sub>) und 12 Monate postoperativ (T2<sub>OI</sub>) erhoben. Die Auswertung erfolgte über alle 3 Domänen des OI sowie über den Gesamtscore (s. Tabelle 4).

Insgesamt ließ sich jeweils eine hochsignifikante Verbesserung des subjektiven Hörvermögens in den Domänen OI-Ruhe, OI-Störgeräusch sowie des OI-Total (Gesamtscore) nach 6 und nach 12 Monaten postoperativ feststellen. Dabei zeigte sich innerhalb der Domäne OI-Störgeräusch präoperativ der niedrigste Wert, im Follow-Up jedoch die größte Verbesserung nach 12 Monaten (um durchschnittlich 0,86 Punkte). Innerhalb der Domäne OI-Richtungshören konnte nach 6 Monaten ein signifikant und nach 12 Monaten ein hochsignifikant verbessertes Ergebnis beobachtet werden (s. Tabelle 5).

**Tabelle 4: Oldenburger Inventar – Fragebogen: Deskriptive Statistik**

	T0 <sub>OI</sub>			T1 <sub>OI</sub>			T2 <sub>OI</sub>		
	Min	MW (SD)	Max	Min	MW (SD)	Max	Min	MW (SD)	Max
<b>OI - Total</b>	n = 30			n = 26			n = 26		
	0,83	2,39 (0,62)	3,83	1,92	3,11 (0,67)	4,25	2,00	3,15 (0,66)	4,42
<b>OI - Ruhe</b>	n = 30			n = 26			n = 26		
	1,40	2,76 (0,81)	4,20	2,20	3,72 (0,66)	4,80	1,80	3,55 (0,85)	4,60
<b>OI - Störgeräusch</b>	n = 30			n = 26			n = 26		
	0,20	1,95 (0,60)	3,60	1,40	2,74 (0,80)	4,00	1,60	2,81 (0,70)	4,40
<b>OI - Richtungshören</b>	n = 30			n = 26			n = 26		
	1,00	2,55 (0,91)	4,00	1,00	2,91 (0,98)	4,20	1,00	2,96 (0,96)	4,50

**Tabelle 5: Oldenburger Inventar – Fragebogen: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz**

	T0 <sub>OI</sub> – T1 <sub>OI</sub>			T1 <sub>OI</sub> – T2 <sub>OI</sub>			T0 <sub>OI</sub> – T2 <sub>OI</sub>		
	MW (T0)	MW (T1)	p Signifikanz <sup>a</sup>	MW (T1)	MW (T2)	p Signifikanz <sup>a</sup>	MW (T0)	MW (T2)	p Signifikanz <sup>a</sup>
<b>OI - Total</b>	2,39	3,11**	< 0,01	3,11	3,15	0,781	2,39	3,15**	< 0,01
<b>OI - Ruhe</b>	2,76	3,72**	< 0,01	3,72	3,55	0,587	2,76	3,55**	< 0,01
<b>OI - Störg.</b>	1,95	2,74**	< 0,01	2,74	2,81	0,760	1,95	2,81**	< 0,01
<b>OI - Richtg.</b>	2,55	2,91*	< 0,05	2,91	2,96	0,753	2,55	2,96**	< 0,01

<sup>a</sup> asymptotische Signifikanz basierend auf Wilcoxon-Test: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ) und hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ )

#### 4.3.2. Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire

Die Auswertung des NCIQ-Fragebogens erfolgte hinsichtlich aller 6 Subdomänen (1 = „Elementare Schallwahrnehmung“; 2 = „Erweiterte Schallwahrnehmung“; 3 = „Sprachproduktion“; 4 = „Selbstachtung“; 5 = „Aktivität“; 6 = „Soziale Interaktion“) an allen 3 Messzeitpunkten: präoperativ (T0<sub>NCIQ</sub>); 6 Monate postoperativ (T1<sub>NCIQ</sub>) und 12 Monate postoperativ (T2<sub>NCIQ</sub>). Zudem wurde zur Darstellung der allgemeinen gesundheitsbezogenen Lebensqualität (HRQOL) ein NCIQ-Gesamtscore (Total) ermittelt (s. Tabelle 6).

**Tabelle 6: Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire: Deskriptive Statistik**

	T0 <sub>NCIQ</sub>			T1 <sub>NCIQ</sub>			T2 <sub>NCIQ</sub>		
	Min	MW (SD)	Max	Min	MW (SD)	Max	Min	MW (SD)	Max
<b>1</b>	n = 30			n = 27			n = 25		
	10,00	49,33 (16,18)	82,50	37,50	61,68 (12,58)	86,11	30,00	60,95 (15,89)	94,44
<b>2</b>	n = 30			n = 27			n = 25		
	25,00	54,57 (16,91)	85,00	25,00	62,02 (16,75)	87,50	37,50	61,17 (13,26)	82,50
<b>3</b>	n = 30			n = 27			n = 25		
	35,00	62,73 (14,11)	85,00	33,33	67,32 (16,75)	110,50	35,71	61,64 (16,16)	93,75
<b>4</b>	n = 30			n = 27			n = 25		
	19,44	49,96 (13,97)	77,50	17,50	49,02 (17,04)	77,50	25,00	51,38 (15,46)	87,50
<b>5</b>	n = 30			n = 27			n = 25		
	19,40	44,97 (15,75)	75,00	20,00	47,30 (16,13)	83,33	12,50	44,25 (16,13)	77,50
<b>6</b>	n = 30			n = 27			n = 25		
	10,71	43,09 (14,97)	78,13	11,10	41,68 (15,94)	72,22	3,57	42,99 (20,37)	87,50
<b>Total</b>	n = 30			n = 27			n = 25		
	25,00	50,93 (10,54)	68,98	36,96	55,04 (11,20)	78,45	38,30	53,87 (9,20)	79,66

Es zeigte sich in der Domäne „Elementare Schallwahrnehmung“ eine hochsignifikante Verbesserung der Lebensqualität nach 6 und nach 12 Monaten postoperativ. In der Domäne „Erweiterte Schallwahrnehmung“ konnte nach 6 bzw. 12 Monaten postoperativ jeweils eine signifikante Verbesserung gemessen werden. Hinsichtlich der übrigen Domänen und des Gesamtscores konnte zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Veränderung festgestellt werden. Die soziale Funktion der NCIQ (5, 6) zeigte präoperativ die niedrigsten Werte (s. Tabelle 7).

Nach 6 und 12 Monaten postoperativ wurde zudem die Tragedauer erfragt. Nach 6 Monaten gaben 26 Patienten eine mittlere Tragedauer von  $11,25 \pm 2,50$  Stunden am Tag an (range: 4,00 – 14,00 Stunden; Median 12,00 Stunden). Nach 12 Monaten wurde eine nicht-signifikante Verbesserung ( $p = 0,206$ ) der Tragedauer auf durchschnittlich  $11,85 \pm 3,24$  Stunden am Tag gemessen ( $n = 24$ ; range: 4,00 – 16,00 Stunden; Median: 14,00 Stunden), was einem Anstieg von 0,60 Stunden entsprach.

**Tabelle 7: Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz**

	T0NCIQ – T1NCIQ			T1NCIQ – T2NCIQ			T0NCIQ – T2NCIQ		
	MW (T0)	MW (T1)	p Signifikanz <sup>a</sup>	MW (T1)	MW (T2)	p Signifikanz <sup>a</sup>	MW (T0)	MW (T2)	p Signifikanz <sup>a</sup>
<b>1</b>	49,33	61,68**	< 0,01	61,68	60,95	0,795	49,33	60,95**	< 0,01
<b>2</b>	54,57	62,02*	< 0,05	62,02	61,17	0,795	54,57	61,17*	< 0,05
<b>3</b>	62,73	67,32	0,178	67,32	61,64	0,721	62,73	61,64	0,465
<b>4</b>	49,96	49,02	0,396	49,02	51,38	0,837	49,96	51,38	0,833
<b>5</b>	44,97	47,30	0,757	47,30	44,25	0,277	44,95	44,25	0,775
<b>6</b>	43,09	41,68	0,936	41,68	42,99	0,784	43,09	42,99	0,977
<b>Total</b>	50,93	55,04	0,151	55,04	53,87	0,394	50,93	53,87	0,153

<sup>a</sup> asymptotische Signifikanz basierend auf Wilcoxon-Test: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ) und hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ )

#### 4.3.3. Allgemeine Depressionsskala – Langform

Im Rahmen der Evaluation einer möglichen depressiven Komorbidität, ergab sich präoperativ (T0<sub>ADS-L</sub>) bei 29 erfassten Patientenangaben ein ADS-L – Mittelwert von  $11,17 \pm 7,92$  Punkten (range: 0 – 31 Punkte; Median: 10,00 Punkte). Zu diesem Messzeitpunkt zeigten 2 Patienten (6,90%) ADS-L – Werte > 23 Punkte. Im postoperativen Follow-Up nach 6 Monaten (T1<sub>ADS-L</sub>) bearbeiteten 26 Patienten die ADS-L mit erzieltm Mittelwert von  $10,42 \pm 8,55$  (range: 0 – 34 Punkte; Median: 12,00 Punkte). Postoperativ nach 12 Monaten (T2<sub>ADS-L</sub>) wurde die ADS-L wiederum von 26 Patienten bearbeitet. Zu diesem Messzeitpunkt ergab der entsprechende Mittelwert  $12,54 \pm 8,67$  (range: 0 – 33 Punkte; Median: 12,50 Punkte), wobei hier weiterhin bei 2 Patienten ein ADS-L – Wert > 23 Punkte festgestellt werden konnte.

Zusammenfassend ließ sich keine signifikante Veränderung der ADS-L-Werte zwischen den Messzeitpunkten verzeichnen. Zum Zeitpunkt T1<sub>ADS-L</sub> war eine Abnahme der Punktsomme um 0,75 Punkte zu beobachten, welche jedoch zum Zeitpunkt T2<sub>ADS-L</sub> um 2,54 Punkte anstieg (s. Tabelle 8).

**Tabelle 8: Allgemeine Depressionsskala: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz**

<b>ADS-L</b>	<b>T0<sub>ES</sub></b>	<b>T1<sub>ES</sub></b>	<b>p Signifikanz<sup>a</sup></b>
Mittelwert (SD)	11,17 (7,92)	10,42 (8,55)	0,986
<b>ADS-L</b>	<b>T1<sub>ES</sub></b>	<b>T2<sub>ES</sub></b>	<b>p Signifikanz<sup>a</sup></b>
Mittelwert (SD)	10,42 (8,55)	12,54 (8,67)	0,267
<b>ADS-L</b>	<b>T0<sub>ES</sub></b>	<b>T2<sub>ES</sub></b>	<b>p Signifikanz<sup>a</sup></b>
Mittelwert (SD)	11,17 (7,92)	12,54 (8,67)	0,520

<sup>a</sup> asymptotische Signifikanz basierend auf Wilcoxon-Test: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ) und hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ )

#### 4.4. WAIS-IV zur Beurteilung der kognitiven Funktion

Als kognitive Parameter wurden Arbeitsgedächtnis und Verarbeitungsgeschwindigkeit mit Hilfe der WAIS-IV sowohl präoperativ (T0), als auch 12 Monate postoperativ (T2) bestimmt.

##### 4.4.1. Arbeitsgedächtnis präoperativ

Die präoperative Testung des AGD ( $T0_{AGD}$ ) ergab einen  $IQ_{AGD}$ -Mittelwert von  $93,94 \pm 13,42$  (range: 63 – 120; Median: 95,00). Hierbei erreichten 2 Patienten (6,06%) einen  $IQ_{AGD}$  von 55 – 69 (weit unterdurchschnittlich), 6 Patienten (18,18%) einen  $IQ_{AGD}$  von 70 – 84 (unterdurchschnittlich), 23 Patienten (69,70%) einen  $IQ_{AGD}$  von 85 – 144 (durchschnittlich) und 2 Patienten (6,06%) einen  $IQ_{AGD}$  von 115 – 129 (überdurchschnittlich) Die meisten  $IQ_{AGD}$  (45,45%,  $n = 15$ ) wurden im Bereich von 89 – 100 erreicht. Analog zu den  $IQ_{AGD}$  wurden die entsprechenden AGD-Prozentränge berechnet, wobei sich ein Mittelwert von  $39,06 \pm 25,55$  (range: 1 – 91; Median: 37,00) ergab.

##### **Rohwert: Zahlen nachsprechen präoperativ**

Die Auswertung des Untertests ZN ergab bei maximal 48 erreichbaren Punkten einen präoperativen Mittelwert von  $23,03 \pm 5,03$  Punkten (range: 14 – 34; Median: 23,00). Hinsichtlich der Häufigkeit der erzielten Rohwertsummen ließ sich eine Kumulation im Bereich von 18 – 27 ( $n = 26$ ; 78,79%) Rohwertpunkten feststellen, wobei 26 Punkte (15,15%,  $n = 5$ ) am häufigsten erzielt worden sind.

##### **Rohwert: Rechnerisches Denken präoperativ**

Im Untertest RD zeigte sich bei maximal 22 erreichbaren Rohwertpunkten ein Mittelwert von  $13,21 \pm 3,28$  (range: 5 – 19; Median: 13,00). Es ließ sich beobachten, dass 28 Patienten (84,85%) Rohwertpunktsummen über 11 erreichten, wobei 11 Rohwertpunkte am häufigsten erreicht worden sind (21,21%,  $n = 7$ ).

##### 4.4.2. Arbeitsgedächtnis postoperativ

Im Follow-Up nach 12 Monaten ( $T2_{AGD}$ ) ergab sich bei allen eingeschlossenen Patienten ein  $IQ_{AGD}$ -Mittelwert von  $96,58 \pm 13,69$  (range: 71 – 139; Median: 95,00). Einen unterdurchschnittlichen  $IQ_{AGD}$  von 70 – 84 erzielten 4 Patienten (12,12%); einen durchschnittlichen  $IQ_{AGD}$  von 85 – 114 erreichten 27 Patienten (81,82%); einen überdurchschnittlichen  $IQ_{AGD}$  von 115 – 129 sowie einen weit überdurchschnittlichen  $IQ_{AGD}$  von 130 – 144 erreichte jeweils 1 Patient (3,03%). Zudem wird ersichtlich, dass die meisten Patienten (27,27%,  $n = 9$ ) einen postoperativen  $IQ_{AGD}$  im Bereich von 100 – 110 erzielten. Die postoperativen Prozentränge des  $IQ_{AGD}$  erreichten einen Mittelwert von  $42,42 \pm 26,01$  (range: 3 – 100; Median: 37,00).

##### **Rohwert: Zahlen nachsprechen postoperativ**

Zum Zeitpunkt  $T2_{AGD}$  ergab sich ein ZN - Mittelwert von  $23,48 \pm 4,96$  (range: 15 – 38; Median: 23,00). Der am häufigsten erzielte Rohwert (15,15%,  $n = 5$ ) war die Punktsomme 23.

#### ***Rohwert: Rechnerisches Denken postoperativ***

Der postoperative RD-Mittelwert betrug  $13,52 \pm 3,32$  (range: 7 – 22; Median: 13,00), wobei am häufigsten (48,48%, n = 16) 12 - 15 Rohwertpunkte im Test erreicht worden sind

#### **4.4.3. Verarbeitungsgeschwindigkeit präoperativ**

Die präoperative Testung der Verarbeitungsgeschwindigkeit ( $T_{0VG}$ ) erbrachte einen  $IQ_{VG}$  - Mittelwert von  $96,24 \pm 13,57$  (range: 70 – 133; Median: 94,00). Hierbei erreichten 6 Patienten (18,18%) einen  $IQ_{VG}$  von 70 – 84 (unterdurchschnittlich), 25 Patienten (75,76%) einen  $IQ_{VG}$  von 85 – 144 (durchschnittlich) und jeweils 1 Patient (3,03%) erreichte einen  $IQ_{VG}$  von 115 – 129 (überdurchschnittlich) bzw. über 130 (weit überdurchschnittlich). Die meisten  $IQ_{VG}$  (21,21%, n = 7) ließen sich im Bereich von 90 – 95 feststellen. Die analog berechneten Prozenträge zeigten einen präoperativen Mittelwert von  $41,64 \pm 27,04$  (range: 2 – 99; Median: 34,00).

#### ***Rohwert: Symbol-Suche präoperativ***

Der Untertest SYS zeigte einen präoperativen Mittelwert von  $19,39 \pm 6,26$  (range: 6 – 33; Median: 20,00), wobei am häufigsten Punkte im Bereich von 18 – 22 erzielt worden sind (36,30%, n = 12).

#### ***Rohwert: Zahlen-Symbol-Test präoperativ***

Bei maximal 135 erreichbaren Rohwertpunkten ließ sich ein präoperativer Mittelwert von  $47,03 \pm 12,76$  (range: 23 – 74; Median: 49,00) berechnen. Die Häufigkeitsverteilung der erreichten Rohwertpunkte erstreckte sich über die gesamte Spannweite annähernd homogen.

#### **4.4.4. Verarbeitungsgeschwindigkeit postoperativ**

Im Follow-Up nach 12 Monaten ( $T_{2VG}$ ) resultierte ein  $IQ_{VG}$  - Mittelwert von  $101,82 \pm 13,96$  (range: 70 – 126; Median: 103,00). Zum Zeitpunkt  $T_{2VG}$  erzielten 7 Patienten (21,21%) einen  $IQ_{VG}$  von 70 – 84 (unterdurchschnittlich), 20 Patienten (60,61%) einen  $IQ_{VG}$  von 85 – 114 (durchschnittlich) und 6 Patienten (18,18%) einen  $IQ_{VG}$  von 115 – 129 (überdurchschnittlich). Die postoperativen Prozenträge des  $IQ_{VG}$  ergaben einen Mittelwert von  $54,79 \pm 28,46$  (range: 2 – 96; Median: 58,00).

#### ***Symbol-Suche postoperativ***

Zum Zeitpunkt  $T_{2VG}$  zeigte sich im Untertest SYS ein Mittelwert von  $21,58 \pm 6,48$  (range: 7 – 38; Median: 22,00). Es haben jeweils 4 Patienten (12,12%) 26 oder 28 Punkte erreichen können, was die häufigsten Rohwertpunkte in diesem Untertest waren.

#### ***Rohwert: Zahlen-Symbol-Test postoperativ***

Bei maximal 135 erreichbaren Rohwertpunkten resultierende ein postoperativer Mittelwert von  $49,48 \pm 15,32$  (range: 20 – 82; Median: 50,00), wobei 50 Punkte am häufigsten erzielt worden sind (15,15%, n = 5).

#### 4.4.5. Vergleich: Kognitionsparameter präoperativ – postoperativ

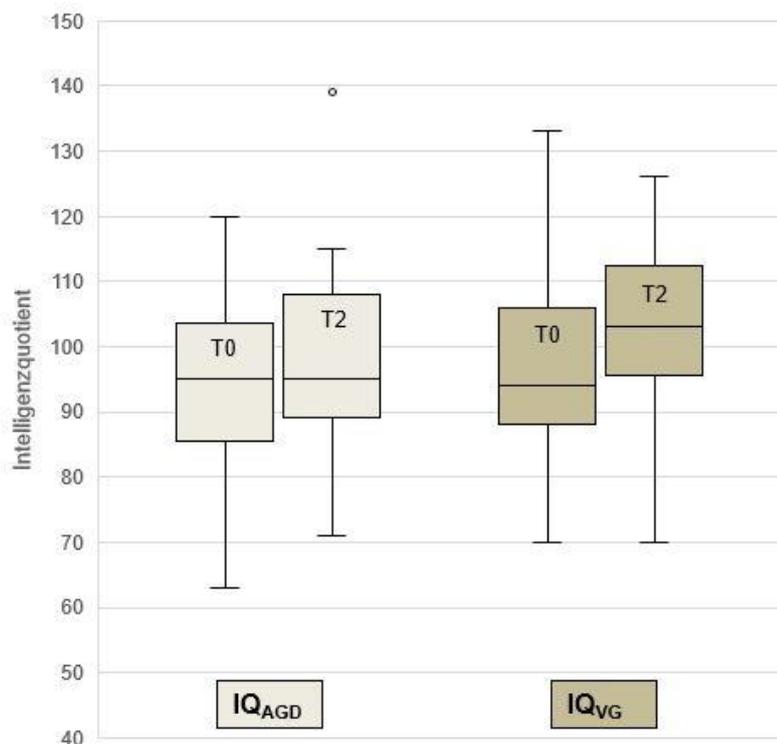
Zwischen den Zeitpunkten T0 und T2 konnte keine signifikante Verbesserung des Arbeitsgedächtnisses gemessen werden (s. Tabelle 9, Abb. 11). Der Mittelwert des IQ<sub>AGD</sub> verbesserte sich geringfügig um 2,64. Insgesamt konnte bei 16 Patienten (48,48%) eine Verbesserung des IQ<sub>AGD</sub> um durchschnittlich 10,5 IQ-Punkte, bei 13 Patienten (39,39%) eine Verschlechterung um durchschnittlich 6,23 IQ-Punkte festgestellt werden. Bei 4 Patienten (12,12%) blieb der IQ<sub>AGD</sub> an beiden Messzeitpunkten konstant.

Der IQ<sub>VG</sub> verbesserte sich hingegen zwischen T0 und T2 hochsignifikant (s. Tabelle 9, Abb. 11). Hierbei wurde eine Mittelwertverbesserung um 5,58 ersichtlich. Dahingehend konnte bei 24 Patienten (72,73%) eine Verbesserung des IQ<sub>VG</sub> um durchschnittlich 9,00 IQ-Punkte, und bei 6 Patienten (18,18%) eine Verschlechterung um durchschnittlich 5,30 IQ-Punkte beobachtet werden. Bei 3 Patienten (9,09%) blieb der IQ<sub>VG</sub> konstant.

**Tabelle 9: Kognitionsparameter: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz**

	T0 MW (SD)	T2 MW (SD)	p Signifikanz <sup>a</sup>
<b>Arbeitsgedächtnis (IQ<sub>AGD</sub>)</b>	93,94 (13,42)	96,58 (13,69)	0,172
<b>Verarbeitungsgeschwindigkeit (IQ<sub>VG</sub>)</b>	96,24 (13,57)	101,82** (13,96)	< 0,01

<sup>a</sup> asymptotische Signifikanz basierend auf Wilcoxon-Test: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ) und hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ )



**Abbildung 11: Darstellung des IQ<sub>AGD</sub> und IQ<sub>VG</sub> an T0 und T2**

### **Vergleich: Untertests präoperativ – postoperativ**

Hinsichtlich der IQ<sub>VG</sub> – Untertests SYS und ZST konnten nach 12 Monaten jeweils signifikante Verbesserungen der Testergebnisse berechnet werden (s. Tabelle 10). So stieg der Mittelwert des Untertests SYS um 2,19 Punkte postoperativ an, der Mittelwert des Untertests ZST um 2,45 Punkte. Innerhalb des Untertests SYS verbesserten sich 21 Patienten (63,64%), innerhalb des ZST 15 Patienten (45,45%) postoperativ. Bezüglich der Untertests des IQ<sub>AGD</sub>, ZN und RD, konnten keine signifikanten Veränderungen nach 12 Monaten festgestellt werden (s. Tabelle 10).

**Tabelle 10: Untertests: Mittelwertvergleich zwischen Messzeitpunkten & statistische Signifikanz**

<b>Zahlen nachsprechen</b>	<b>T0</b>	<b>T2</b>	<b>p Signifikanz<sup>a</sup></b>
Mittelwert (SD)	23,03 (5,03)	23,48 (4,96)	0,953
<b>Rechnerisches Denken</b>	<b>T0</b>	<b>T2</b>	<b>p Signifikanz<sup>a</sup></b>
Mittelwert (SD)	13,21 (3,28)	13,52 (3,32)	0,504
<b>Symbol-Suche</b>	<b>T0</b>	<b>T2</b>	<b>p Signifikanz<sup>a</sup></b>
Mittelwert (SD)	19,39 (6,26)	21,58* (6,48)	< 0,05
<b>Zahlen-Symbol-Test</b>	<b>T0</b>	<b>T2</b>	<b>p Signifikanz<sup>a</sup></b>
Mittelwert (SD)	47,03 (12,76)	49,48* (15,32)	< 0,05

<sup>a</sup> asymptotische Signifikanz basierend auf Wilcoxon-Test: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ) und hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ )

## **4.5. Darstellung von Zusammenhängen**

### **4.5.1. Einflussfaktor Hörvermögen auf Kognition, Lebensqualität, Depressivität**

Zunächst wurde untersucht, welchen Einfluss das Hörvermögen (OI, ES, OLSA) auf Kognition, Lebensqualität und Depressivität prä- und postoperativ hatte. Der ES und der OLSA wurden aufgrund ihrer besseren Verwertbarkeit bzw. Verfügbarkeit erst postoperativ einbezogen. Hierbei wurden Spearman-Rang-Korrelationsanalysen vorgenommen, die in Tabelle 11 (präoperativ), Tabelle 12 (6 Monate postoperativ) und Tabelle 13 (12 Monate postoperativ) dargestellt sind.

#### **4.5.1.1. Präoperativer Einfluss**

Als Ausgangsparameter zur präoperativen Korrelation diente der Oldenburger Inventar – Fragebogen zur subjektiven Einschätzung des Hörvermögens.

#### **Kognition und ADS-L**

Zwischen dem OI und den kognitiven Parametern (IQ, Untertests) konnten präoperativ keine signifikanten Korrelationen errechnet werden. Es zeigte sich jedoch die Tendenz eines Zusammenhangs zwischen dem OI-Störgeräusch und dem WAIS-Untertest „Zahlen nachsprechen“ (s. Tabelle 11). Auch zwischen dem OI und der ADS-L bestanden präoperativ keine signifikanten Zusammenhänge.

**Tabelle 11: Spearman-Korrelation: Einflussfaktor Hörvermögen an T0 (präoperativ)**

		OI - Ruhe	OI -Störgeräusch	OI -Richtungshören	OI - Total
<b>WAIS-Intelligenzquotienten</b>					
<b>IQ<sub>AGD</sub></b>	Rsp	0,148	0,085	-0,023	0,095
	p Signifikanz	0,437	0,655	0,902	0,618
<b>IQ<sub>VG</sub></b>	Rs	-0,029	0,038	0,052	0,033
	p Signifikanz	0,881	0,841	0,786	0,862
<b>WAIS – Untertests</b>					
<b>ZN</b>	Rsp	0,251	0,328	0,186	0,299
	p Signifikanz	0,180	0,077	0,326	0,108
<b>RD</b>	Rsp	0,060	0,053	-0,118	0,017
	p Signifikanz	0,754	0,780	0,534	0,928
<b>SYS</b>	Rsp	0,038	0,173	-0,044	0,128
	p Signifikanz	0,841	0,360	0,816	0,499
<b>ZST</b>	Rsp	-0,109	0,036	0,199	-0,021
	p Signifikanz	0,567	0,850	0,293	0,913
<b>Depressivität</b>					
<b>ADS-L</b>	Rsp	-0,211	-0,031	0,271	-0,097
	p Signifikanz	0,273	0,874	0,154	0,617
<b>Lebensqualität</b>					
<b>NCIQ 1</b>	Rsp	<b>0,575**</b>	<b>0,576**</b>	0,282	<b>0,633**</b>
	p Signifikanz	<b>&lt; 0,01</b>	<b>&lt; 0,01</b>	0,131	<b>&lt; 0,01</b>
<b>NCIQ 2</b>	Rsp	<b>0,732**</b>	<b>0,689**</b>	0,258	<b>0,721**</b>
	p Signifikanz	<b>&lt; 0,01</b>	<b>&lt; 0,01</b>	0,169	<b>&lt; 0,01</b>
<b>NCIQ 3</b>	Rsp	<b>0,533**</b>	<b>0,440*</b>	0,261	<b>0,603**</b>
	p Signifikanz	<b>&lt; 0,01</b>	<b>&lt; 0,05</b>	0,163	<b>&lt; 0,01</b>
<b>NCIQ 4</b>	Rsp	<b>0,453*</b>	<b>0,413*</b>	0,120	<b>0,441*</b>
	p Signifikanz	<b>&lt; 0,05</b>	<b>&lt; 0,05</b>	0,529	<b>&lt; 0,05</b>
<b>NCIQ 5</b>	Rsp	0,218	<b>0,277</b>	0,158	<b>0,280</b>
	p Signifikanz	0,246	<b>0,138</b>	0,403	<b>0,134</b>
<b>NCIQ 6</b>	Rsp	<b>0,440*</b>	<b>0,413*</b>	0,290	<b>0,484**</b>
	p Signifikanz	<b>&lt; 0,05</b>	<b>&lt; 0,05</b>	0,120	<b>&lt; 0,01</b>
<b>NCIQ Total</b>	Rsp	<b>0,764**</b>	<b>0,689**</b>	0,301	<b>0,782**</b>
	p Signifikanz	<b>&lt; 0,01</b>	<b>&lt; 0,01</b>	0,106	<b>&lt; 0,01</b>

Signifikanz-Niveau: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ); hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ ); Rsp = Spearman-Korrelationskoeffizient (Spearman's Rho)

### **NCIQ**

Hierbei zeigten sich präoperativ in der Korrelation zwischen OI und NCIQ-Domänen 1 – 6 sowie dem NCIQ-Gesamtscore mehrere, teils hochsignifikante Ergebnisse. Die Domäne OI – Ruhe korrelierte hochsignifikant positiv mit der NCIQ 1 (Elementare Schallwahrnehmung), NCIQ 2 (Erweiterte Schallwahrnehmung), der NCIQ 3 (Sprachproduktion), sowie dem NCIQ-Gesamtscore. Signifikante Korrelationen konnten zwischen dem OI – Ruhe und der NCIQ 4 (Selbstachtung) und NCIQ 6 (Soziale Interaktion) hergestellt werden. Folglich gaben Patienten mit einem höheren subjektiven Hörvermögen in Ruhe präoperativ auch eine bessere domänenbezogene Lebensqualität an. Ähnliche positive Korrelationen konnten auch zwischen der Domäne OI – Störgeräusch und der NCIQ 1, 2 und Total

(hochsignifikant), wie auch NCIQ 3, 4 und 6 (signifikant) festgestellt werden. Hierbei bedeutete ein subjektiv besseres Hören mit Hintergrundgeräuschen auch eine bessere Lebensqualität bezüglich der Domänen Schallwahrnehmung, Sprachproduktion, Selbstachtung und sozialer Interaktion. Auch im OI-Total (Gesamtscore des subjektiven Hörvermögens) zeigten sich die beschriebenen Korrelationen (NCIQ 1, 2, 3, 6 und Total als hochsignifikant und NCIQ 4 als signifikant) und stellten die Abhängigkeit eines präoperativ besseren subjektiven Hörens zu einer entsprechend besseren Lebensqualität dar. Signifikante Korrelationen zwischen dem OI-Richtungshören und der NCIQ gelangen präoperativ nicht (s. Tabelle 11).

#### 4.5.1.2. Einfluss nach 6 Monaten postoperativ

Nach 6 Monaten postoperativ dienten der ES, der OLSA und der OI-Fragebogen als Ausgangsparameter zur Korrelation.

**Tabelle 12: Spearman-Korrelation: Einflussfaktor Hörvermögen an T1 (6 Monate postoperativ)**

		ES	OLSA	OI - Ruhe	OI -Störgeräusch	OI -Richtungshören	OI - Total
<b>Depressivität</b>							
ADS-L	Rsp	-0,332	0,268	<b>-0,475*</b>	-0,178	-0,025	-0,353
	p Signifikanz	0,113	0,217	<b>&lt; 0,05</b>	0,384	0,903	0,077
<b>Lebensqualität</b>							
NCIQ 1	Rsp	-0,182	-0,101	<b>0,449*</b>	0,344	0,155	0,377
	p Signifikanz	0,385	0,637	<b>&lt; 0,05</b>	0,086	0,450	0,057
NCIQ 2	Rsp	0,129	-0,375	<b>0,599**</b>	<b>0,585**</b>	0,379	<b>0,656**</b>
	p Signifikanz	0,540	0,071	<b>&lt; 0,01</b>	<b>&lt; 0,01</b>	0,056	<b>&lt; 0,01</b>
NCIQ 3	Rsp	-0,184	0,009	<b>0,461*</b>	<b>0,088</b>	0,050	0,258
	p Signifikanz	0,378	0,966	<b>&lt; 0,05</b>	<b>0,669</b>	0,809	0,203
NCIQ 4	Rsp	0,002	-0,167	0,352	0,267	0,191	0,345
	p Signifikanz	0,994	0,435	0,078	0,187	0,349	0,085
NCIQ 5	Rsp	-0,286	-0,045	-0,054	0,110	-0,130	-0,010
	p Signifikanz	0,166	0,834	0,792	0,594	0,527	0,960
NCIQ 6	Rsp	-0,229	0,107	0,247	0,177	0,266	0,170
	p Signifikanz	0,272	0,619	0,224	0,388	0,189	0,405
NCIQ Total	Rsp	-0,150	-0,227	<b>0,439*</b>	0,272	0,193	0,332
	p Signifikanz	0,475	0,286	<b>&lt; 0,05</b>	0,179	0,344	0,098
<b>Subjektives Hörvermögen</b>							
OI - Ruhe	Rsp	0,236	-0,025				
	p Signifikanz	0,268	0,908				
OI - Stör	Rsp	0,205	-0,106				
	p Signifikanz	0,337	0,630				
OI - Richtung	Rsp	<b>0,410*</b>	-0,039				
	p Signifikanz	<b>&lt; 0,05</b>	0,860				
OI - Total	Rsp	0,277	-0,146				
	p Signifikanz	0,190	0,506				

Signifikanz-Niveau: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ); hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ ); Rsp = Spearman-Korrelationskoeffizient (Spearman's Rho)

## NCIQ

Hinsichtlich der gesundheitsbezogenen Lebensqualität zeigte sich eine Abnahme der signifikanten Korrelationen mit dem OI nach 6 Monaten. Es zeigte sich noch eine hochsignifikant positive Korrelation zwischen dem OI – Ruhe und der NCIQ-Domäne 2, wobei zwischen dem OI – Ruhe und der NCIQ 1 sowie dem NCIQ-Gesamtscore noch signifikante Korrelationen nachzuweisen waren. Zwischen dem OI-Störgeräusch bzw. dem OI-Total und der NCIQ 2 konnte ebenfalls noch eine jeweils hochsignifikante Korrelation beobachtet werden. Hinsichtlich des Sprachverstehens gemessen am ES und OLSA, konnten nach 6 Monaten keine signifikanten Zusammenhänge errechnet werden (s. Tabelle 12).

## ADS-L

Der Einfluss des Hörvermögens nach 6 Monaten auf die Depressivität zeigte eine signifikante Abnahme der Depressivität bei verbessertem subjektivem Hören in Ruhe. Weitere Korrelationen zwischen Sprachverstehen, OI und ADS-L ergaben sich nach 6 Monaten postoperativ nicht (s. Tabelle 12).

### 4.5.1.3. Einfluss nach 12 Monaten postoperativ

Nach 12 Monaten postoperativ konnten wiederum der ES, der OLSA und der OI-Fragebogen als Ausgangsparameter zur Korrelation verwendet werden.

**Tabelle 13: Spearman-Korrelation: Einflussfaktor Hörvermögen an T2 (12 Monate postoperativ)**

		ES	OLSA	OI - Ruhe	OI -Störgeräusch	OI -Richtungshören	OI - Total
<b>WAIS-Intelligenzquotienten</b>							
<b>IQ<sub>AGD</sub></b>	Rsp	0,167	-0,069	-0,078	0,102	-0,193	-0,040
	p Signifikanz	0,370	0,722	0,704	0,620	0,344	0,845
<b>IQ<sub>VG</sub></b>	Rsp	0,079	-0,199	-0,012	0,103	-0,140	0,038
	p Signifikanz	0,672	0,300	0,953	0,615	0,496	0,854
<b>WAIS – Untertests</b>							
<b>ZN</b>	Rsp	0,126	-0,175	0,178	0,255	-0,050	0,190
	p Signifikanz	0,500	0,364	0,383	0,209	0,810	0,353
<b>RD</b>	Rsp	0,238	-0,196	-0,177	-0,044	-0,345	-0,158
	p Signifikanz	0,198	0,309	0,388	0,832	0,085	0,442
<b>SYS</b>	Rsp	0,019	<b>-0,407*</b>	0,076	0,066	-0,287	0,026
	p Signifikanz	0,921	<b>&lt;0,05</b>	0,713	0,748	0,155	0,900
<b>ZST</b>	Rsp	0,242	-0,207	0,097	0,207	-0,013	0,157
	p Signifikanz	0,189	0,282	0,637	0,311	0,950	0,443
<b>Depressivität</b>							
<b>ADS-L</b>	Rsp	-0,229	0,085	<b>-0,446*</b>	-0,300	-0,226	<b>-0,435*</b>
	p Signifikanz	0,281	0,693	<b>&lt; 0,05</b>	0,136	0,267	<b>&lt; 0,05</b>
<b>Lebensqualität</b>							
<b>NCIQ 1</b>	Rsp	0,153	-0,384	0,290	0,103	0,086	0,213
	p Signifikanz	0,487	0,070	0,160	0,624	0,684	0,306

<b>NCIQ 2</b>	Rsp	0,338	<b>-0,532**</b>	<b>0,613**</b>	<b>0,528**</b>	0,268	<b>0,598**</b>
	p Signifikanz	0,114	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt; 0,01</b>	<b>&lt; 0,01</b>	0,195	<b>&lt; 0,01</b>
<b>NCIQ 3</b>	Rsp	-0,052	-0,303	0,366	0,169	0,188	0,294
	p Signifikanz	0,814	0,160	0,072	0,421	0,369	0,154
<b>NCIQ 4</b>	Rsp	0,117	-0,031	-0,011	0,237	0,138	0,140
	p Signifikanz	0,596	0,889	0,959	0,255	0,382	0,505
<b>NCIQ 5</b>	Rsp	0,146	0,034	-0,068	0,031	0,079	-0,003
	p Signifikanz	0,505	0,879	0,746	0,883	0,708	0,990
<b>NCIQ 6</b>	Rsp	-0,028	0,234	-0,190	0,129	0,331	0,045
	p Signifikanz	0,901	0,283	0,362	0,540	0,106	0,831
<b>NCIQ Total</b>	Rsp	0,124	-0,304	0,222	0,248	0,219	0,263
	p Signifikanz	0,573	0,159	0,286	0,232	0,293	0,204
<b>Subjektives Hörvermögen</b>							
<b>OI - Ruhe</b>	Rsp	<b>0,479*</b>	-0,521				
	p Signifikanz	<b>&lt; 0,05</b>	0,109				
<b>OI - Stör</b>	Rsp	0,379	-0,199				
	p Signifikanz	0,068	0,352				
<b>OI – Richtung</b>	Rsp	0,154	0,107				
	p Signifikanz	0,471	0,620				
<b>OI - Total</b>	Rsp	<b>0,484*</b>	-0,300				
	p Signifikanz	<b>&lt; 0,05</b>	0,154				

Signifikanz-Niveau: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ); hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ ); Rsp = Spearman-Korrelationskoeffizient (Spearman's Rho)

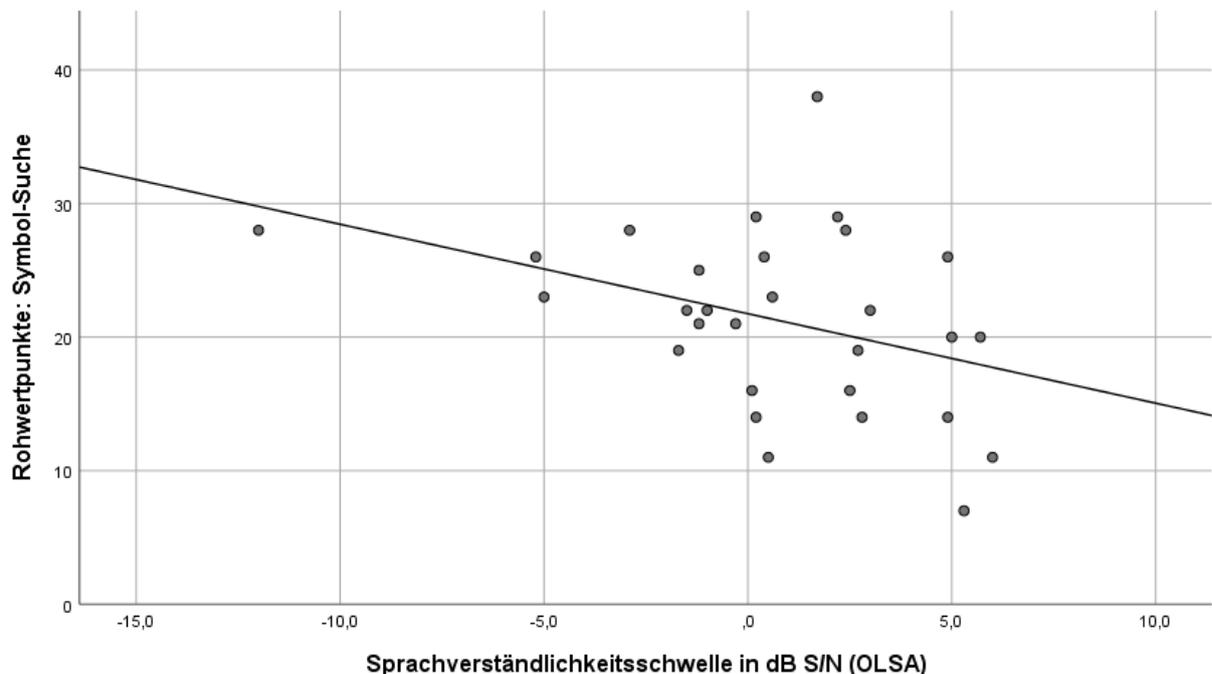
### **NCIQ**

Nach 12 Monaten ließ sich eine jeweils hochsignifikante Korrelation zwischen dem OI – Ruhe bzw. dem OI – Störgeräusch bzw. dem OI – Total und der NCIQ-Domäne 2 reproduzieren. Hierbei zeigte sich zudem eine Beteiligung des OLSA in hochsignifikanter, negativer Korrelation mit der NCIQ 2. Folglich verbesserte sich nach 12 Monaten für die Patienten die erweiterte Schallwahrnehmung bei Abnahme der Sprachverständlichkeitsschwelle im Störgeräusch. Weitere signifikante Zusammenhänge zwischen dem Hörvermögen und der Lebensqualität ließen sich 12 Monate nach CI-Versorgung nicht darstellen (s. Tabelle 13).

### **Kognition**

Eine negative, signifikante Korrelation zeigte sich nach 12 Monaten zwischen dem WAIS-Untertest „Symbol-Suche“ und dem Hören im Störgeräusch im OLSA. Folglich erzielten Patienten bei Abnahme der Sprachverständlichkeitsschwelle (Hörverbesserung) eine bessere Rohwertsumme in der SYS (s. Tabelle 13). Diese Abhängigkeit ließ sich auch in einer linearen Regressionsanalyse als signifikant ( $p < 0,05$ ) darstellen (s. Abb. 12), wobei das Sprachverstehen im Störgeräusch als ein Prädiktor für die Symbol-Suche postoperativ identifiziert werden konnte ( $r^2 = 0,147$ ;  $B = -0,670$ ).

Weitere postoperative Zusammenhänge zwischen dem Hörvermögen und den Kognitionsparametern waren nicht ersichtlich.



**Abbildung 12: Abhängigkeit von Sprachverstehen im Störgeräusch (OLSA) und SYS 12 Monate postoperativ**

#### **ADS-L**

Hier konnte festgestellt werden, dass das subjektive Hörempfinden in Ruhe und der OI-Total eine signifikant negative Korrelation mit der ADS-L eingingen. Ein besseres subjektives Hörvermögen nach CI-Versorgung war somit mit einer Abnahme der Depressivität verbunden (s. Tabelle 13).

#### **OI und Sprachverstehen**

Nach 12 Monaten postoperativ konnte festgestellt werden, dass der OI-Ruhe sowohl mit dem ES als auch mit dem OLSA signifikante Korrelationen einging (s. Tabelle 13).

### **4.5.2. Einflussfaktoren Lebensqualität und Depressivität auf die Kognition**

Des Weiteren wurde untersucht, welcher Zusammenhang zwischen der NCIQ, ADS-L und Kognition bestand. Hierbei wurde prä- (T0) und postoperativ (T2, 12 Monate) miteinander korreliert. In Tabelle 14 (präoperativ) und Tabelle 15 (12 Monate postoperativ) werden die Ergebnisse dargestellt:

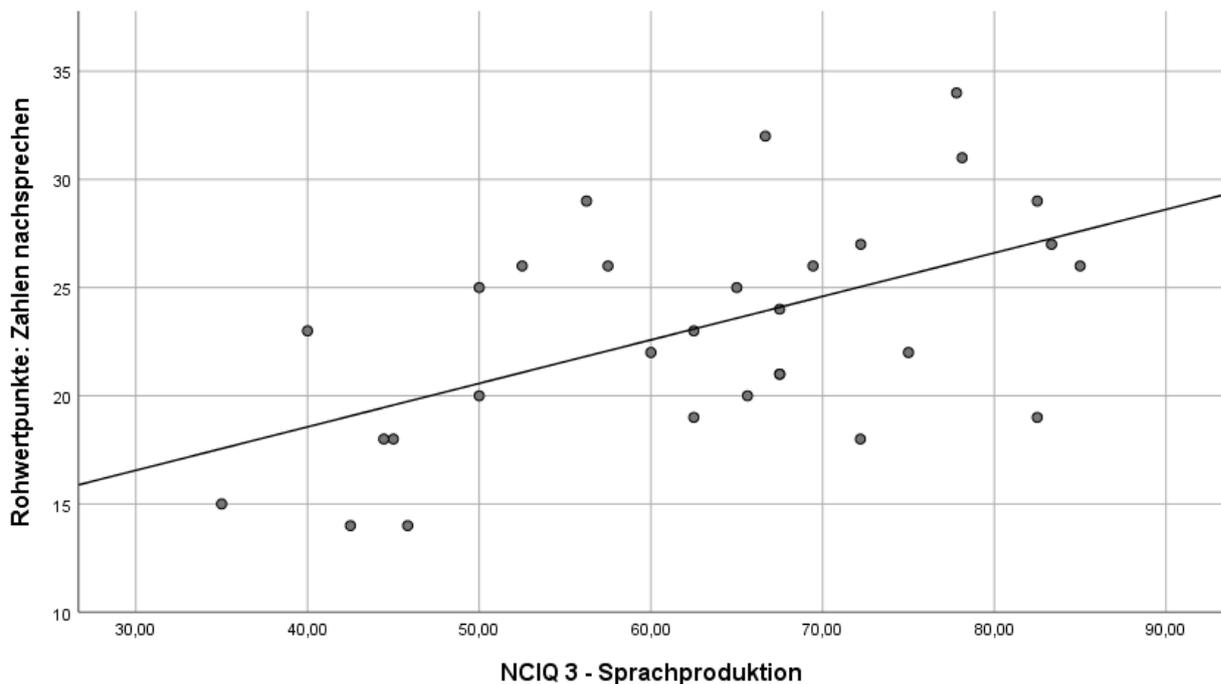
#### **4.5.2.1. Präoperativer Einfluss**

Präoperativ gelang eine hochsignifikante Korrelation zwischen der NCIQ 3 und dem WAIS-Untertest „Zahlen nachsprechen“ (s. Tabelle 14), wobei hier der Rohwert des ZN von der eigenen Sprachproduktion abhing. In der linearen Regressionsanalyse (s. Abb. 13) konnte dieser Zusammenhang reproduziert werden, wobei die Sprachproduktion als Prädiktor für den ZN angesehen werden konnte ( $r^2 = 0,301$ ;  $B = 0,201$ ;  $p < 0,01$ ).

**Tabelle 14: Spearman-Korrelation: Psychometrischer Einfluss auf die Kognition an T0 (präoperativ)**

		NCIQ 1	NCIQ 2	NCIQ 3	NCIQ 4	NCIQ 5	NCIQ 6	NCIQ Total	ADS-L
<b>WAIS-IV Parameter</b>									
<b>IQ<sub>AGD</sub></b>	Rsp	0,096	0,240	0,319	0,022	0,124	-0,111	0,237	-0,179
	p Signifikanz	0,613	0,201	0,086	0,909	0,515	0,558	0,208	0,352
<b>IQ<sub>VG</sub></b>	Rsp	-0,260	-0,147	0,090	-0,172	0,233	0,107	0,007	0,041
	p Signifikanz	0,166	0,439	0,638	0,362	0,216	0,573	0,972	0,834
<b>ZN</b>	Rsp	0,225	0,253	<b>0,519**</b>	0,001	0,153	-0,043	0,330	-0,060
	p Signifikanz	0,231	0,178	<b>&lt;0,01</b>	0,998	0,420	0,821	0,074	0,758
<b>RD</b>	Rsp	0,109	0,259	0,189	-0,013	0,037	-0,229	0,137	-0,163
	p Signifikanz	0,567	0,166	0,316	0,945	0,846	0,222	0,471	0,399
<b>SYS</b>	Rsp	-0,058	0,027	0,072	-0,075	<b>0,449*</b>	0,223	0,161	-0,052
	p Signifikanz	0,762	0,889	0,706	0,695	<b>&lt;0,05</b>	0,235	0,396	0,789
<b>ZST</b>	Rsp	-0,240	-0,144	0,103	-0,167	0,195	0,074	0,011	0,135
	p Signifikanz	0,201	0,448	0,587	0,379	0,303	0,696	0,954	0,486

Signifikanz-Niveau: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ); hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ ); Rsp = Spearman-Korrelationskoeffizient (Spearman's Rho)



**Abbildung 13: Abhängigkeit von Sprachproduktion (NCIQ 3) und ZN präoperativ**

Des Weiteren zeigte sich präoperativ ein signifikanter Zusammenhang zwischen der NCIQ 5 und dem WAIS-Untertest „Symbol-Suche“. In der Regressionsanalyse konnte die soziale Aktivität knapp signifikant als Prädiktor für die Rohwertpunkte der SYS festgestellt werden ( $r^2 = 0,131$ ;  $B = 0,148$ ;  $p = 0,049$ ). Weitere präoperative Zusammenhänge mit signifikantem Ergebnis, auch unter Aspekt der Depressivität, konnten nicht identifiziert werden (s. Tabelle 14).

#### 4.5.2.2. Einfluss nach 12 Monaten postoperativ

12 Monate nach CI-Versorgung konnte festgestellt werden, dass sich eine signifikante Korrelation zwischen der NCIQ 3 und dem WAIS-Untertest SYS ergab. Hingegen war der Zusammenhang von NCIQ 3 und ZN postoperativ nicht mehr signifikant reproduzierbar ( $p = 0,094$ ). Weitere Signifikanzen zwischen Kognition und Lebensqualität konnten postoperativ nicht festgestellt werden (s. Tabelle 15).

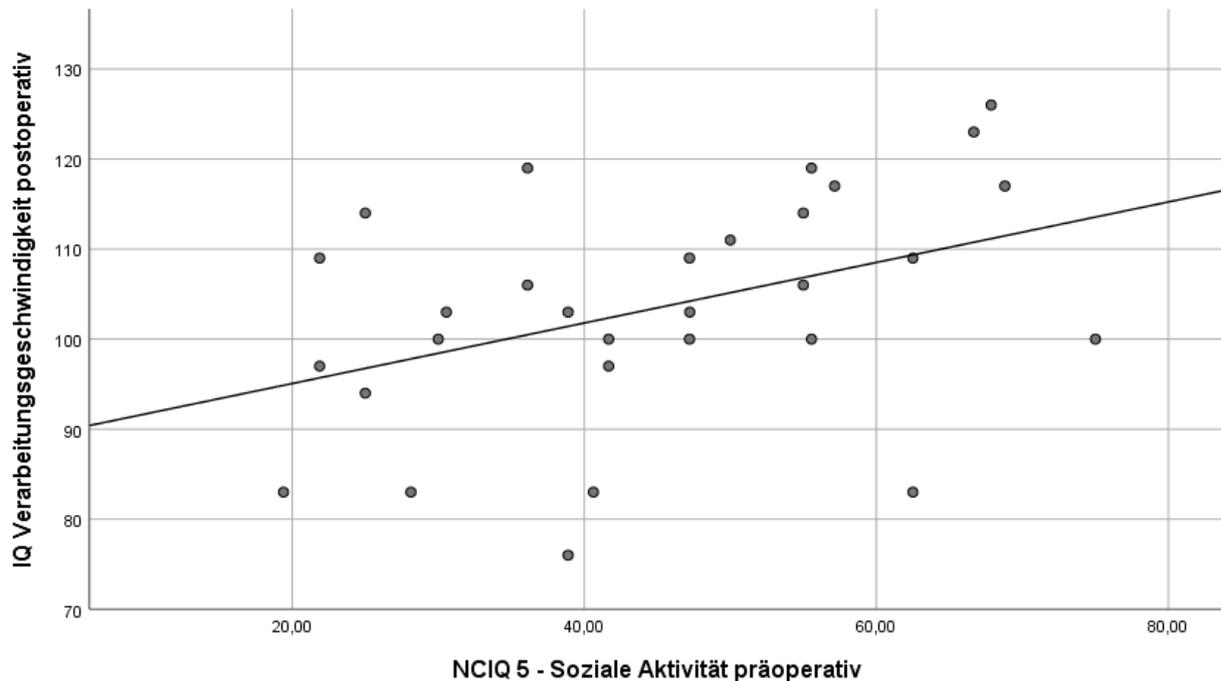
**Tabelle 15: Spearman-Korrelation: Psychometrischer Einfluss auf die Kognition an T2 (12 Mon. postoperativ)**

		NCIQ 1	NCIQ 2	NCIQ 3	NCIQ 4	NCIQ 5	NCIQ 6	NCIQ Total	ADS-L
<b>WAIS-IV Parameter</b>									
<b>IQ<sub>AGD</sub></b>	Rsp	-0,265	-0,151	0,080	0,130	0,248	0,108	0,008	0,180
	p Signifikanz	0,201	0,470	0,704	0,535	0,232	0,606	0,971	0,379
<b>IQ<sub>VG</sub></b>	Rsp	0,003	-0,002	0,209	-0,041	0,050	-0,063	0,011	-0,055
	p Signifikanz	0,988	0,992	0,315	0,846	0,811	0,765	0,957	0,788
<b>ZN</b>	Rsp	-0,257	0,064	0,343	-0,002	0,130	0,043	0,057	0,156
	p Signifikanz	0,215	0,760	0,094	0,992	0,537	0,840	0,788	0,448
<b>RD</b>	Rsp	-0,039	-0,147	-0,104	0,143	0,169	0,054	0,018	0,209
	p Signifikanz	0,854	0,484	0,621	0,495	0,419	0,799	0,933	0,305
<b>SYS</b>	Rsp	0,154	0,130	<b>0,400*</b>	-0,220	-0,184	-0,286	0,036	-0,002
	p Signifikanz	0,462	0,534	<b>&lt; 0,05</b>	0,290	0,379	0,166	0,866	0,993
<b>ZST</b>	Rsp	-0,044	0,070	0,078	-0,185	-0,156	-0,239	-0,170	-0,079
	p Signifikanz	0,835	0,741	0,710	0,375	0,456	0,249	0,415	0,702

Signifikanz-Niveau: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ); hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ ); Rsp = Spearman-Korrelationskoeffizient (Spearmans Rho)

Bezüglich prädiktiver Faktoren gelang jedoch die Darstellung einer Abhängigkeit der präoperativen sozialen Aktivität (NCIQ 5) und des postoperativen IQ<sub>VG</sub>. So konnte mittels linearer Regressionsanalyse ermittelt werden, dass eine höhere präoperative Lebensqualität im sozialen Bereich signifikant mit der Höhe des IQ-Wertes der postoperativen Verarbeitungsgeschwindigkeit zusammenhing ( $r^2 = 0,170$ ;  $B = 0,336$ ;  $p < 0,05$ ) (s. Abb. 14). Darüber hinaus zeigte auch der Untertests SYS nach 12 Monaten eine signifikante lineare Abhängigkeit zur präoperativen Lebensqualität (NCIQ 5) im sozialen Bereich ( $r^2 = 0,131$ ;  $B = 0,148$ ;  $p < 0,05$ ).

Ähnliche, wenn auch nicht signifikante, Zusammenhänge ließen sich zwischen der sozialen Aktivität (NCIQ 5) präoperativ und dem ZST postoperativ ( $p = 0,066$ ) darstellen. Signifikante Korrelationen zwischen den Kognitionsparametern und der ADS-L konnten nicht ermittelt werden (s. Tabelle 15).



**Abbildung 14: Abhängigkeit von sozialer Aktivität (NICQ 5) präoperativ und Verarbeitungsgeschwindigkeit postoperativ**

#### 4.5.3. Wechselwirkungen von Lebensqualität, Tragedauer und Depressivität

Außerdem wurde untersucht, welche Wechselwirkungen zwischen Lebensqualität und Depressivität gewirkt haben könnten und welchen Einfluss die Tragedauer des CIs postoperativ hatte. Dabei sind die postoperativen Ergebnisse der Korrelationsanalyse in den Tabellen 16 (6 Monate postoperativ) und 17 (12 Monate postoperativ) dargestellt.

Nach 6 Monaten ließ sich feststellen, dass die NCIQ-Domänen 2 bzw.3 jeweils signifikant negativ mit der ADS-L korrelierten. So hatten Patienten nach 6 Monaten CI-Tragezeit eine Abnahme der Depressivität bei Verbesserung der erweiterten Schallwahrnehmung und Sprachproduktion (s. Tabelle 16).

Nach 12 Monaten CI-Versorgung war eine hochsignifikante, negative Korrelation zwischen der NCIQ 2 bzw. eine signifikante, negative Korrelation zwischen der NCIQ 1 und der ADS-L ersichtlich. Weitere signifikante Zusammenhänge konnten hier nicht ermittelt werden (s. Tabelle 17).

**Tabelle 16: Wechselwirkungen zwischen Lebensqualität, Depressivität und Hören 6 Monate postoperativ**

		NCIQ 1	NCIQ 2	NCIQ 3	NCIQ 4	NCIQ 5	NCIQ 6	NCIQ Total	Trage-dauer
ADS-L	Rsp	-0,247	<b>-0,446*</b>	<b>-0,463*</b>	-0,278	0,003	0,071	-0,321	-0,175
	Signifikanz	0,224	<b>&lt; 0,05</b>	<b>&lt; 0,05</b>	0,169	0,987	0,729	0,110	0,403
		<b>ES</b>	<b>OLSA</b>	<b>OI Ruhe</b>	<b>OI Stör.</b>	<b>OI Richt.</b>	<b>OI Total</b>		
Trage-dauer	Rsp	0,204	-0,111	0,096	-0,219	0,154	-0,013		
	Signifikanz	0,340	0,614	0,650	0,293	0,463	0,952		

Signifikanz-Niveau: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ); hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ ); Rsp = Spearman-Korrelationskoeffizient (Spearmans Rho)

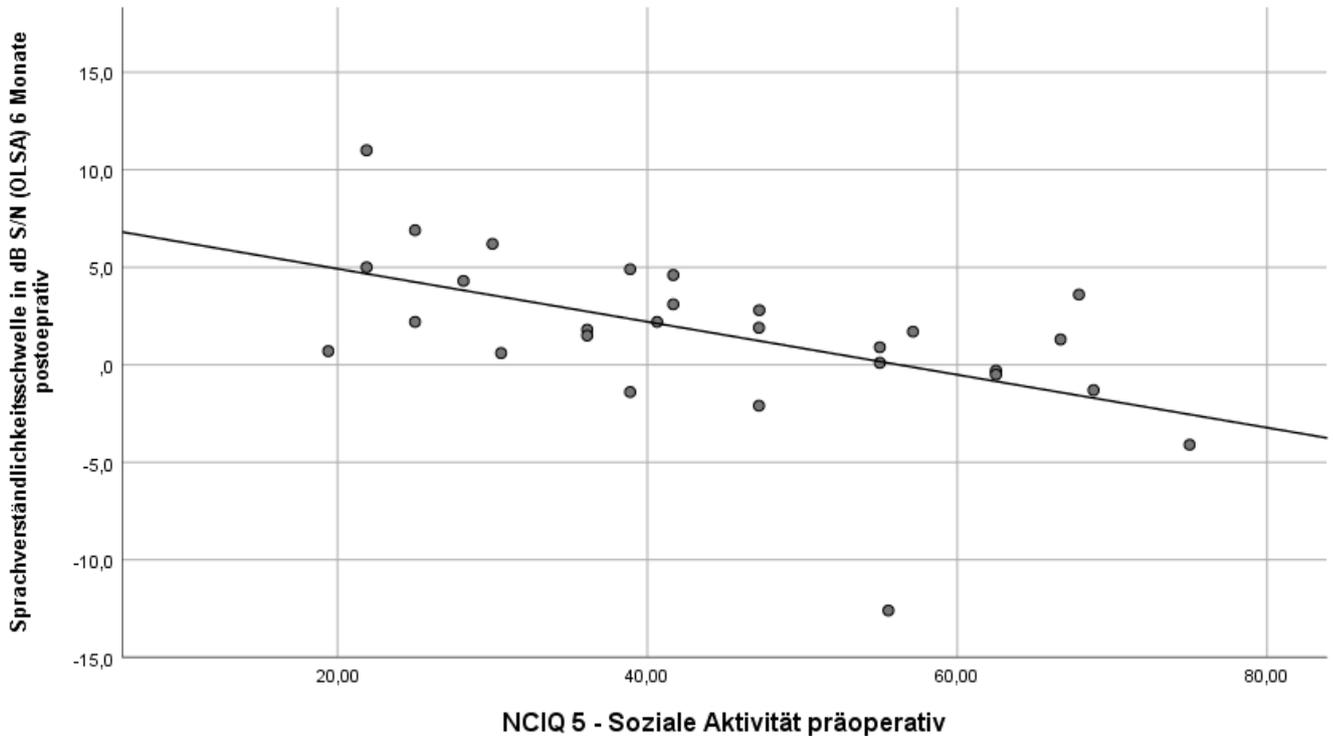
**Tabelle 17: Wechselwirkungen zwischen Lebensqualität, Depressivität und Hören 12 Monate postoperativ**

		NCIQ 1	NCIQ 2	NCIQ 3	NCIQ 4	NCIQ 5	NCIQ 6	NCIQ Total	Trage-dauer
ADS-L	Rsp	<b>-0,474*</b>	<b>-0,514**</b>	-0,243	0,058	0,397	0,373	-0,090	-0,032
	Signifikanz	<b>&lt; 0,05</b>	<b>&lt; 0,01</b>	0,242	0,784	0,078	0,066	0,668	0,880
		<b>ES</b>	<b>OLSA</b>	<b>OI Ruhe</b>	<b>OI Stör.</b>	<b>OI Richt.</b>	<b>OI Total</b>		
Trage-dauer	Rsp	0,156	-0,116	-0,132	-0,058	0,179	-0,071		
	Signifikanz	0,488	0,607	0,540	0,788	0,403	0,741		

Signifikanz-Niveau: signifikant\* ( $p \leq 0,05$ ); hochsignifikant\*\* ( $p \leq 0,01$ ); Rsp = Spearman-Korrelationskoeffizient (Spearmans Rho)

Darüber hinaus wurde untersucht, welchen möglichen prädiktiven Einfluss die Lebensqualität auf das Sprachverstehen gehabt haben könnten. Hierbei ließ sich feststellen, dass die präoperative soziale Aktivität (NCIQ 5) das Sprachverstehen im Störgeräusch (OLSA) sowohl nach 6 als auch nach 12 Monaten postoperativ beeinflusste. Eine höhere soziale Aktivität präoperativ zeigte eine hochsignifikante lineare Abhängigkeit zur reduzierten SVS nach 6 Monaten ( $r^2 = 0,281$ ;  $B = -0,136$ ;  $p < 0,01$ ; s. Abb. 15).

Auch 12 Monate postoperativ konnte eine lineare Abhängigkeit zwischen der sozialen Aktivität vor der Operation und dem OLSA festgestellt werden, wenn auch weniger signifikant ( $r^2 = 0,205$ ;  $B = -0,106$ ;  $p < 0,05$ ). Die Herstellung eines signifikanten Einflusses der sozialen Lebensqualität auf das Einsilbenverstehen gelang hingegen nicht.



**Abbildung 15:** Abhängigkeit von sozialer Aktivität (NCIQ 5) präoperativ und Sprachverstehen im Störgeräusch (OLSA) 6 Monate postoperativ

#### 4.5.4. Einflussfaktor Alter auf Kognition, Lebensqualität und Depressivität

Zuletzt wurde betrachtet, welchen Einfluss das Alter der Patientenkohorte vor CI-Operation auf die Kognition, Lebensqualität und Depressivität hatte. Hierbei ließ sich präoperativ eine signifikante, negative Korrelation zwischen dem Testalter und dem präoperativen WAIS-Untertest SYS feststellen ( $R_{sp} = -0,419$ ;  $p < 0,05$ ). Patienten mit einem hohen Testalter erreichten folglich niedrigere Rohwertpunkte in der Symbolsuche vor CI-Operation. In der linearen Regressionsanalyse gelang die Darstellung einer Abhängigkeit zwischen dem Testalter vor Operation und der präoperativen Rohwertsumme der SYS ( $r^2 = 0,151$ ;  $B = -0,487$ ;  $p < 0,05$ ). Postoperativ konnte dieser Zusammenhang in der linearen Regressionsanalyse reproduziert werden ( $r^2 = 0,144$ ;  $B = -0,494$ ;  $p < 0,05$ ).

Des Weiteren zeigte sich nach 12 Monaten postoperativ ein signifikanter, negativer Einfluss des Patientenalters auf den Untertest ZN der Kategorie Arbeitsgedächtnis ( $R_{sp} = -0,382$ ;  $p < 0,05$ ). Folglich zeigte sich auch nach der Operation, dass Patienten mit einem höheren Alter schlechtere Ergebnisse in den WAIS-Untertests SYS und ZN erreichten. Signifikante Einflüsse zwischen dem Patientenalter und der Lebensqualität und Depressivität gelangen zu keinem Messzeitpunkt.

## **5. Diskussion**

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss einer Cochlea-Implantation auf kognitive Fähigkeiten bei 33 Patienten  $\geq 65$  Jahren untersucht. Daneben wurden Sprachverständlichkeit, Lebensqualität und Depressivität und ihre Wechselwirkungen sowohl vor, als auch nach CI-Versorgung in der untersuchten Population erfasst. Dies erschien besonders vor dem Hintergrund wichtig, dass es aktuell nur einen anfänglichen Erkenntnisstand darüber gibt, wie sich die komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen von Hören, Kognition und psychischen Komorbiditäten im Alter darstellen.

Auf dieser Grundlage konnte vorliegend ein signifikant-verbessernder Effekt der CI-Versorgung auf Sprachverständlichkeit, subjektives Hörvermögen und die Verarbeitungsgeschwindigkeit älterer Patienten beobachtet werden. Hinsichtlich des Arbeitsgedächtnisses zeigte sich nach 12 Monaten postoperativ bei den untersuchten Patienten ein konstantes Ergebnis. Bezüglich der Lebensqualität konnte eine hohe soziale Aktivität vor der Operation als möglicher prädiktiver Faktor für das postoperative Outcome der Verarbeitungsgeschwindigkeit angesehen werden. Depressivität hatte im Kontext der Kognitionsleistung und Hörverbesserung der einbezogenen Patienten eine eher untergeordnete Rolle, wenngleich sich aber eine Abnahme depressiver Symptome bei verbessertem subjektivem Hörvermögen zeigte. Diese Resultate sind insbesondere im Hinblick auf den gegenwärtigen Forschungsstand interessant, da sie teilweise von anderen Untersuchungen differieren und möglicherweise neue Ansätze bezüglich des Assessments der CI-Versorgung bieten. Im Folgenden sollen die Ergebnisse und deren Wechselwirkungen diskutiert und kontextualisiert werden.

### **5.1. Diskussion der Patientenkohorte und des Studiendesigns**

#### **5.1.1. Patientenkohorte**

Im Rahmen der prospektiven Datenerhebung wurden in dieser Arbeit 33 Patienten  $\geq 65$  Jahre eingeschlossen. Vergleichbare Studien (82,99,102), die den Einfluss einer CI-Versorgung auf Kognition und psychische Komorbiditäten untersuchten, haben teilweise mehr Patienten eingeschlossen ( $n = 60 - 125$ ), wobei einige dieser Studien neben dem CI auch Patienten mit konventionellen Hörgeräten betrachteten. Eine Studie von Jayakody et al. (2017) hat annähernd so viele Patienten ( $n = 39$ ) wie in der vorliegenden Arbeit betrachtet (83). Weitere Studien haben hingegen ein Studiendesign mit weniger Patienten ( $n = 7 - 25$ ) als in der vorliegenden Arbeit entworfen (108,133,134). Die Untersuchung des Sprachverstehens bildete bei allen Studien die Basis zur Evaluation kognitiver Fähigkeiten nach CI-Operation. Studien, die primär die Sprachperzeption untersuchten, haben bei geringerer Patientenzahl ( $n = 14 - 29$ ) als vorliegend signifikante Ergebnisse erreicht (84,93,95,98). Somit gestaltet sich in der aktuellen Literatur ein variationsbreites Bild an eingeschlossenen Patientenzahlen, wobei sich die dargestellten Ergebnisse hinsichtlich des Sprachverstehens und der allgemeinen Verbesserung „kognitiver Fähigkeiten“ nicht stark voneinander unterscheiden. Aufgrund dessen, dass sich die untersuchte Thematik in den letzten

Jahren zunehmend entwickelt hat, erschien ein Stichprobenumfang von 33 Patienten als ausreichend. Insbesondere deswegen, um auch bisher kaum untersuchte Aspekte in diesem Kontext, wie die Verarbeitungsgeschwindigkeit, grundlegend untersuchen und beschreiben zu können. Nach Ruf verschiedener Autoren lässt sich derzeit jedoch die Tendenz zu Langzeituntersuchungen über Jahre mit größeren Stichprobenumfängen beobachten, welche das komplexe Zusammenspiel von Hörrehabilitation, Kognition und psychosozialen Aspekten beleuchten (109,110). Dies erscheint vor dem Hintergrund einer langsam- progredienten Veränderung kognitiver Fähigkeiten im Alter durchaus sinnvoll, um die Stabilität des kognitiven und psychischen Befindens auch Jahre nach CI-Versorgung festhalten und mögliche Inzidenzen neuropsychiatrischer Erkrankungen im Rahmen einer Hörverbesserung verifizieren zu können.

Das mittlere Alter bei Testeinschluss betrug in dieser Arbeit 76,10 Jahre, wobei ein Einschlusskriterium von mindestens 65 Jahren gegeben war. Allgemein definieren vergleichbare Studien „ältere Patienten“ anhand eines Alters von mindestens 65 Jahren, welches als Einschlusskriterium gewählt wurde (82,93,98,99,133,135). Anhand eines Cut-Offs von 65 Jahren lassen sich einige epidemiologische Faktoren erläutern, die dieses Alter zu einem geeigneten Einschlusskriterium machen. So beträgt einerseits die Inzidenz einer Schwerhörigkeit ab dem 65. Lebensjahr über 30% (2,3), was zu einer entsprechenden CI-Indikation führen kann. Andererseits wird unabhängig davon eine deutliche Abnahme kognitiver Funktionen der fluiden Intelligenz ab 65 Jahren beschrieben (27). Anhand dieser Beobachtungen stellt sich das Alter von 65 Jahren als Scheitelpunkt zwischen Hörleistung und Kognition dar und kann somit retrospektiv als geeignetes Einschlusskriterium für die vorliegende Arbeit gesehen werden. Der Altersdurchschnitt der vorliegenden Arbeit lag mit 76,10 Jahren wenige Jahre über dem Altersdurchschnitt in vergleichbaren Studien, was sich mit dem Einschluss auch zweier hochbetagter Patienten über 85 Jahre erklären lässt. So betrug das mittlere Einschlussalter beispielsweise bei Mosnier et al. (2015) 72 Jahre (82) und bei Castiglione et al. (2016) 74 Jahre (99). Bei Cosetti et al. (2016) lag das Alter mit 76,30 Jahren jedoch knapp über dem vorliegenden Durchschnitt (108).

### **5.1.2. Studiendesign**

Die Datenerhebung der vorliegenden Arbeit erfolgte prospektiv, was den Vorteil hatte, dass die Patienten kontrolliert, standardisiert und einheitlich interviewt worden sind. Insbesondere in Bezug auf die Fragebögen konnten die Daten somit zu jedem Messzeitpunkt konkret und ohne Recall Bias erfasst werden. Hinsichtlich der jeweiligen Testverfahren dieser Arbeit variierte jedoch die einbezogene Patientenzahl. Die WAIS-IV-Testungen erfolgten, wie beschrieben, unter kontrollierter und standardisierter Anleitung und brachten somit konstante Patientenzahlen im Follow-Up hervor. Die angeleiteten sprachaudiometrischen Tests im Rahmen der Hörrehabilitation brachten zwar auch konstante Patientenzahlen im Follow-Up hervor, jedoch konnten hierbei einige postoperative Sprachtestdaten compliancebedingt nicht vollständig erhoben werden. Die Fragebögen hingegen wurden von den Patienten im selbstständigen Interview ausgefüllt, wodurch die Quantität der Angaben

teilweise nachließ. Einige Patienten berichteten von Schwierigkeiten beim Ausfüllen der Fragebögen (Verständnisprobleme bezüglich einiger Fragen, Nichtbeachtung von Rückseiten, mangelnde Ausdauer), was sich in einer niedrigeren Compliance der Fragebogenbeantwortung zeigte. Andere, wenige Patienten ließen die Fragebögen mit Hilfe von Angehörigen ausfüllen, was möglicherweise zu einer Abnahme der Objektivität der Antworten geführt haben könnte. Zukünftig sollte überdacht werden, ob die entsprechenden Fragebögen besser unter einer standardisierten Anleitung oder kontrolliert auszufüllen sind.

Sämtliche Einschlusskriterien orientierten sich eng an den Empfehlungen des Weißbuchs zur CI-Versorgung (79), wodurch sich eine möglichst objektive Selektion des Patientenguts ergeben sollte. Die vorgegebenen Messzeitpunkte von 6 bzw. 12 Monaten postoperativ orientierten sich an der Erstanpassung und Hörrehabilitation nach CI-Operation. Etliche vergleichbare Studien haben im Rahmen ihrer Erhebungen ebenfalls ein Follow-Up von 6 bzw. 12 Monaten angegeben (82,102,133,134), was eine engmaschige Einschätzung des Versorgungserfolges nach CI-Operation ermöglichte. Dem gegenüber stehen einige Langzeituntersuchungen über 12 Monate nach Versorgung hinaus, die insbesondere die kognitiven Auswirkungen nach der Operation untersuchten (101,104,108,110). Da die vorliegende Arbeit als Grundlage für weitere Langzeituntersuchungen dienen soll, erschien die Limitation der Datenerhebung nach 12 Monaten, auch zur besseren Vergleichbarkeit bisheriger Resultate, als hinreichend.

## **5.2. Diskussion der Ergebnisse und Methodik des Hörvermögens**

### **5.2.1. Freiburger Einsilbertest**

Die Überprüfung des Einsilbenverstehens erfolgte in der vorliegenden Arbeit vor und nach CI-Implantation im Follow-Up. Dabei wurde ein Einsilbenverstehen von  $\leq 40\%$  (SSP 65 dB) in Ruhe als Einschlusskriterium gewählt, wie auch in jüngeren Untersuchungen zuvor (95,102). Hinsichtlich der Rehabilitation von CI-Patienten kommt dem ES seit Jahren eine besondere Bedeutung zu, da er insbesondere die Sprachdiskrimination ähnlicher Phoneme in unterschiedlichem SSP überprüft und eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zeigt (118). Allerdings zeigt sich in der Handhabung des Tests auch eine kritische Güte, da einige der Testwörter aufgrund ihrer heutigen Rarität oder ihres ähnlichen Klangs möglicherweise vom Patienten gar nicht gedeutet werden könnten (118). Auch in der vorliegenden Arbeit konnte bei einigen Patienten retrospektiv festgestellt werden, dass manche Wörter zwar verstanden, aber nicht gedeutet werden konnten und demnach falsch wiedergegeben worden sind. Aus diesem Grund ist eine gewisse kognitive Anforderung bei der Umsetzung von Nöten. Zudem gestaltet sich die Vergleichbarkeit der ES-Ergebnisse mit anderen Studien schwierig, da variable SSP zur Testung ausgewählt werden können. Dennoch zeigte sich eine vielversprechende Ergebnisproduktion nach CI-Versorgung. Initial wiesen die Patienten dieser Arbeit ein Einsilbenverständnis in Ruhe von durchschnittlich 5,94% auf, wobei das ertaubte, zu versorgende Ohr hierbei überprüft wurde. Bereits 6 Monate nach Implantation, verbesserte sich das Einsilbenverstehen

hochsignifikant auf 52,98%, nach 12 Monaten postoperativ nochmals signifikant auf 59,68%. Die Untersuchung von Völter et al. (2018) erbrachte im ES bei 65 dB in Ruhe hinsichtlich einer unilateralen CI-Versorgung vergleichbare Ergebnisse: Hier zeigte sich ein initiales Einsilbenverstehen von 3,5%, welches nach 6 Monaten postoperativ auf 50% und nach 12 Monaten postoperativ auf 65% anstieg (102). Trotzdem Völter et al. eine größere Population untersuchen (n = 60), kann die vorliegende Arbeit die Ergebnisse verhältnismäßig stark reproduzieren. Zwischen 6 und 12 Monate postoperativ zeigte sich bei Völter et al. jedoch ein nochmals etwa doppelt so starker Anstieg des Einsilbenverstehens im Vergleich zu der vorliegenden Arbeit. Hierbei könnte die etwas jüngere Population in der Untersuchung von Völter et al. ursächlich sein (Einschlussalter 50 – 84 Jahre), da die Abnahme des Hörvermögens vor dem 65. Lebensjahr etwas geringer ist als danach (3). Weiterhin lassen sich die vorliegenden Ergebnisse anhand der Studie von Büchsenschütz et al. (2015) annähernd reproduzieren (95). Hier wurde bei etwa vergleichbarer Patientenkohorte ein initiales Einsilbenverstehen von fast 0% gemessen, welches sich nach 6 Monaten auf etwa 45% und nach 12 Monaten signifikant auf 50% verbesserte. Auch im nicht-deutschsprachigen Ausland kommen Sprachtests zum Einsilbenverstehen zur Anwendung, wobei diesbezüglich im französischen Sprachraum bei Sonnet et al. (2017) vergleichbare Ergebnisse eines französischen Einsilbentests im Follow-Up erzielt worden sind, wie in dieser Arbeit (133).

Es zeigt sich, dass auch ältere Patienten hinsichtlich ihres Sprachverstehens in Ruhe von einer unilateralen CI-Versorgung profitieren und die Vergleichbarkeit mit anderen Studien gegeben ist. Beträchtlich ist der initial steile Anstieg des ES in den ersten 6 Monaten postoperativ, was nahelegen lässt, dass durch ein intensives, postoperatives Hör-Sprach-Training ein erneutes „Hörlernen“ forciert werden kann. Hierdurch kann die Plastizität einiger Gehirnareale stimuliert werden, die durch die auditive Deprivation entkoppelt waren (136). Untersuchungen diesbezüglich unterstützen die Annahme, dass ein aktives Training der Phonemunterscheidung auch bei älteren Patienten nach CI-Operation einen großen Benefit hat, vorausgesetzt, die Patienten haben eine entsprechende Rehabilitationsmotivation (137). Verglichen mit jüngeren Kohorten, zeigte sich bei Büchsenschütz et al. eine etwas langsamere Entwicklung des Sprachverstehens nach Implantation, was möglicherweise eine erhöhte kognitive Anforderung (Cognition Load Theory) älterer Patienten beim „Hörlernen“ suggerieren könnte.

### **5.2.2. Oldenburger Satztest**

Zur Überprüfung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch wurde in der vorliegenden Arbeit der OLSA angewandt. Im Rahmen der CI-Versorgung gilt der OLSA derzeit als das am besten geeignete Verfahren zur Bestimmung des Sprachverständnisses im Störgeräusch, wobei hier ein Störpegel von 65 dB eine alltagsgetreue Simulation von Hintergrundgeräuschen erlaubt. Zudem ermöglicht die adaptive Messung der SVS bei einem fixen Störpegel reproduzierbare Ergebnisse, wodurch ein Vergleich der gemessenen Sprachtestdaten durchführbar ist (120). Aus kritischer Sicht wird beschrieben, dass der OLSA einen gewissen Lerneffekt erbringe. Daher wird die Empfehlung bei

schwerhörigen CI-Patienten zur probatorischen Testung in Ruhe gegeben, bevor die Messung im Störschall erfolgen sollte (120).

Die räumliche Situation der Schallquelle in der vorliegenden Arbeit wurde gemäß der Empfehlungen im Weißbuch zur CI-Versorgung als S0N0 ausgewählt (79). Der nach 6 Monaten in dieser Arbeit resultierte Mittelwert von +1,53 dB S/N reduzierte sich nach 12 Monaten signifikant auf +0,53 dB S/N. Der Vergleich dieser Ergebnisse gestaltet sich schwierig, da identische Testkriterien (OLSA adaptiv im Störgeräusch von 65 dB, S0N0) bei ähnlichem Versuchsaufbau (Evaluation nach CI-Versorgung im Alter) in anderen Studien gegeben sein müssen. Dahingehend lassen sich in der aktuellen Literatur nur wenige Studien im deutschsprachigen Raum finden (95,102). So beschrieben wiederum Völter et al. (2018) eine nach 12 Monaten postoperative SVS von +2,4 dB S/N bei ihrer Patientenkohorte. Büchschütz et al. (2015) beschreiben nach 12 Monaten eine etwas geringere SVS von +1,3 dB S/N. Die in dieser Arbeit erreichte SVS von +0,53 dB S/N liegt damit unterhalb der zitierten Werte und ist damit geringfügig besser. Zur besseren Einordnung dieser Ergebnisse lässt sich eine Studie von Weißgerber et al. (2019) erwähnen, in welcher Patienten über 60 Jahre ohne subjektive Hörstörung sprachaudiometrisch (u.a. OLSA) getestet worden sind. Dabei zeigten Patienten von 60 bis 74 Jahren eine SVS von -5,3 dB S/N und Patienten von 75-90 Jahren eine SVS von -3,4 dB S/N (138). Diese Zahlen legen nahe, dass eine CI-Versorgung eine signifikante Annäherung an die SVS normalhörender Patienten der entsprechenden Altersgruppe bewirkt, wenngleich noch eine deutliche Diskrepanz hinsichtlich des Hörens im Störgeräusch zu Gesunden besteht. Im Vergleich zur präoperativen Situation, in der der OLSA bei an Taubheit grenzenden Personen nicht durchgeführt werden kann, zeigt sich, dass eine CI-Versorgung einen starken und signifikanten Einfluss auf das Satzverstehen hat und dem Patienten somit ein besseres, alltagsadaptiertes Hörvermögen vermitteln kann.

### **5.2.3. Oldenburger Inventar-Fragebogen**

Da das Hören als eigene sensorische Fähigkeit zwar objektiv gemessen, aber nur subjektiv beurteilt werden kann, wurde in der vorliegenden Arbeit zusätzlich zur Sprachaudiometrie der Oldenburger Inventar-Fragebogen zur Bearbeitung gestellt. Da der Fragebogen alltägliche Hörsituationen in unterschiedlichen Hördomänen (Ruhe, Störgeräusch, Richtungshören) erfasst und verständlich formuliert ist, stellte er sich für die vorliegende Patientenkohorte als geeignetes, additives Testinstrument zur Evaluation der Hörleistung dar. Hinsichtlich der Evaluation des Hörvermögens nach CI-Versorgung konnte anhand des OI in dieser Studie erfasst werden, dass sich das subjektive Hörvermögen in allen Domänen des Fragebogens nach 6 bzw. 12 Monaten mehrheitlich hochsignifikant verbesserte. Insbesondere das subjektive Hörvermögen im Störgeräusch besserte sich nach 12 Monaten postoperativ von 1,95 Punkten auf 2,81 Punkte am stärksten. Das subjektive Richtungshören zeigte von allen Domänen andererseits die geringste Verbesserung um 0,41 Punkte, wenngleich sich hier nach 12 Monaten auch eine hochsignifikante Verbesserung darstellen ließ. Auch

das Hören in Ruhe und der Gesamtscore des OI konnten 12 Monate postoperativ hochsignifikant verbessert gemessen werden.

Die vergleichsweise geringere Verbesserung des OI-Richtungshören ist möglicherweise durch die bimodale Hörsituation nach CI-Operation zu erklären, in deren Zuge ein „neues“ Richtungshören nach Ertaubung erst wieder erlernt werden muss. Vergleicht man die präoperativen Angaben aller Domänen miteinander, so wurde das subjektive Hörvermögen im Störgeräusch schwächer eingeschätzt (1,95 Punkte) als in den anderen Domänen. Diese Beobachtung wurde auch schon in anderen Untersuchungen getätigt (139,140), wobei hier deutlich wird, welche Ausprägung ein Hörverlust im Kontext von Alltagsaktivitäten mit Umgebungsgeräuschen hat. In der vorliegenden Arbeit wurde zudem überprüft, inwiefern sich das subjektiv verbesserte Hören bei älteren Patienten mit der objektiver gestalteten Sprachaudiometrie deckt. Hierbei ließ sich jeweils nach 12 Monaten eine signifikante Korrelation zwischen dem Einsilbenverstehen und dem subjektiven Hören in Ruhe bzw. dem OI-Gesamtwert ermitteln. Bereits die Autoren des OI haben ebenfalls eine Korrelation zwischen einem Einsilber-Test (Reimtest) und dem OI-Ruhe festgestellt, aber zur Frage gestellt, warum das subjektive Hören im Störgeräusch nicht mit Sprachverständlichkeitstests im Störgeräusch korrelierte (128). Dahingehend wurden als Limitationen eine unter Umständen eingeschränkte Reliabilität (unterschiedliche Repräsentativität der erfragten Situationen im OI) und Validität (subjektive Einschätzungen der eigenen Behinderung variabel) des OI angegeben, welche bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollten (128). Eine Untersuchung von Sukowski et al. (2012) konnte jedoch bei größerer Patientenkohorte eine signifikante Korrelation zwischen dem OI-Störgeräusch und einer Sprachaudiometrie im Störgeräusch herstellen (140). Die Vergleichbarkeit der hier erzielten Ergebnisse des subjektiven Hörvermögens im Alter gestaltet sich dennoch schwierig, da die gegenwärtige Literatur dazu wenige Vergleichsuntersuchungen zur Verfügung stellt. Die eigene Arbeitsgruppe (2016) beschreibt in einer Untersuchung mit Patienten über 70 Jahren jedoch eine vergleichbare Situation der OI-Domänen wie in der vorliegenden Arbeit. Hierbei zeigen sich insbesondere in den Domänen OI-Ruhe und OI-Störgeräusch ähnliche Ausgangsparameter und Verbesserungen der subjektiven Hörleistung (114). Die eigene Arbeitsgruppe (2016) konnte bei einer weiteren Studie an 17 Patienten über 80 Jahren nach 6 Monaten CI-Versorgung Ergebnisse erzielen, die teilweise geringfügig unter den hier erlangten Daten (OI-Total: 2,85; OI-Ruhe: 2,85) bzw. teilweise etwas über den vorliegenden Ergebnissen lagen (OI-Störgeräusch: 2,68; OI-Richtung: 2,89). Hierbei spiegelt sich im Allgemeinen jedoch eine ähnliche Dynamik der Daten wie vorliegend wider (112). In einer Untersuchung von Huhnd (2011) zeigte sich eine statistisch etwas stärkere Verbesserung der einzelnen OI-Domänen nach CI-Versorgung, wobei hier auch jüngere Patienten berücksichtigt worden sind (139).

Durch die vorliegende Arbeit kann folglich aufgezeigt werden, dass sich nach unilateraler Versorgung ein mindestens signifikant verbessertes Sprachverstehen in Ruhe und im Störgeräusch herausbildete, was unter Zuhilfenahme sowohl subjektiver als auch objektiver Testverfahren verifiziert werden

konnte. Eine jeweilige Verbesserung des Hörvermögens konnte innerhalb aller Verfahren bereits nach 6 Monaten, jedoch am stärksten nach 12 Monaten postoperativ gemessen werden. Das nach 12 Monaten hochsignifikant verbessert gemessene, subjektive Hörvermögen bekräftigt den individuellen, audiologischen CI-Versorgungserfolg älterer Patienten. Im Allgemeinen decken sich diese Erkenntnisse des verbesserten Hörvermögens mit denen anderer Studien, wobei ein CI auch nachweislich für ältere Patienten einen deutlichen audiometrischen Benefit hat (84,90,112,91–96,98,102).

### **5.3. Diskussion der Ergebnisse und Methodik von Lebensqualität und Depressivität**

#### **5.3.1. Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire**

Zur Beurteilung der CI-spezifischen Lebensqualität wurde in der vorliegenden Arbeit die NCIQ herangezogen. Die Besonderheit der NCIQ liegt darin, dass nicht nur eine globale gesundheitsbezogene Lebensqualität erfasst wird, sondern auch verschiedene Bereiche der Lebensqualität („Elementare Schallwahrnehmung“, „Erweiterte Schallwahrnehmung“, „Sprachproduktion“, „Selbstachtung“, „Aktivität“ und „Interaktion“) detektiert werden können. Die NCIQ ergänzt die Batterie der subjektiven Messung des CI-Erfolges und wird als reliables und valides Testinstrument zur erweiterten Diagnostik bei CI-Patienten angewandt (130). In der vorliegenden Arbeit wurden alle Domänen der NCIQ im Hinblick auf die Evaluation der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei Patienten über 65 Jahren erfragt. Präoperativ zeigten sich in den Domänen „Erweiterte Schallwahrnehmung“, „Sprachproduktion“ und „NCIQ-Total“ Mittelwerte von mindestens 50. Die Lebensqualität im sozialen Bereich („Aktivität“ und „Interaktion“) wurde vor der Operation mit Mittelwerten von 44,97 bzw. 43,09 am geringsten eingeschätzt. Im postoperativen Follow-Up zeigte sich im Bereich der „Elementaren Schallwahrnehmung“ eine hochsignifikante Verbesserung und im Bereich der „Erweiterten Schallwahrnehmung“ eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität nach 6 und 12 Monaten. Bezüglich der anderen Domänen konnte festgestellt werden, dass die Lebensqualität nach der OP konstant hohe Werte verglichen zu präoperativ aufwies.

Im Vergleich mit der Publikation der betreuenden Arbeitsgruppe aus 2016 fällt auf, dass die präoperativen NCIQ-Parameter in der vorliegenden Arbeit differieren. Hinsichtlich dieser präoperativen Mittelwerte zeigte die Publikation überwiegend niedrigere NCIQ-Ausgangswerte als die vorliegende Arbeit. Insbesondere der NCIQ-Total-Ausgangswert lag in der Publikation mit 43 Punkten deutlich unter dem vorliegend berechneten Wert von 51 Punkten. Im Follow-Up konnte in der Publikation darüber hinaus eine hochsignifikante Verbesserung aller NCIQ-Domänen und des Gesamtscores nach 6 Monaten errechnet werden (114). Im Vergleich dazu zeigt die vorliegende Arbeit lediglich eine mindestens signifikante Verbesserung der lebensqualitätsbezogenen Schallwahrnehmung.

Die nach 6 Monaten postoperativ dargestellten Werte der Publikation nähern sich den vorliegend berechneten Werten jedoch mehrheitlich an, sodass ähnliche postoperative Punktsummen beider

Arbeiten in den Domänen „Sprachproduktion“, „Selbstachtung“, „Aktivität“ und dem Gesamtscore zu verzeichnen sind (114). Folglich kann resümiert werden, dass durch die präoperativ niedrigeren NCIQ-Ausgangswerte der bisherigen Literatur eine größere Diskrepanz im Follow-Up (bei annähernd ähnlichen Endpunktwerten) auftrat und somit signifikante Verbesserungen aller Domänen ermittelt werden konnten. Hierbei zeigte sich folglich eine breite signifikante Verbesserung der Lebensqualität nach CI-Versorgung. Weitere Studien (vgl. Mosnier et al. (82), Hirschfelder et al. (115) und Völter et al. (102)) erbrachten ebenfalls signifikante Veränderungen der gesundheitsbezogenen Lebensqualität in allen 6 Domänen und im NCIQ-Gesamtscore auch nach 12 Monaten, wobei auch hier eine größere Diskrepanz zwischen präoperativ niedrigeren und postoperativ ähnlich hohen NCIQ-Werten wie vorliegend ersichtlich ist.

Ursächlich für die überwiegend ausbleibende Verbesserung der Lebensqualität nach CI-Versorgung ist in der vorliegenden Arbeit womöglich die präoperativ hoch eingeschätzte Lebensqualität in den meisten NCIQ-Domänen, exemplarisch im NCIQ-Gesamtscore, welche sich im postoperativen Verlauf nicht maßgeblich verbessern konnte. Hierbei können mehrere potentiell ursächliche Faktoren diskutiert werden. Zunächst könnte die Größe der Patientenkohorte einen Einfluss genommen haben. In den oben genannten Vergleichsstudien wurden zwar Patienten der gleichen Altersgruppe inkludiert, jedoch war die Anzahl der Untersuchten jeweils mindestens doppelt so hoch wie in der vorliegenden Arbeit. Ein weiterer, wesentlich ursächlicher Punkt könnte im Drop-out einzelner Patienten liegen. Bei initial 45 eingeschlossenen Patienten kam es bei 12 Patienten zu einer Lost to Follow-Up – Situation, wobei hier unter anderem OP-Bedenken, Krankheit oder der ausdrückliche Patientenwunsch zu einer Ablehnung der weiteren Datenerhebung führten. Folglich konnten die entsprechenden NCIQ-Daten dieser 12 Patienten nicht in die Auswertung einbezogen werden. Drop-out-bedingt ist eine positive Selektion als Ursache für die Verzerrung der präoperativen NCIQ-Parameter in der Folge denkbar. Weiterhin kam es auch innerhalb der ausgewerteten Patientendaten zu einem Lost to Follow-Up hinsichtlich der Fragebögen. So füllten nach 6 Monaten noch 27 Patienten, nach 12 Monaten postoperativ jedoch nur noch 25 Patienten die NCIQ in der vorliegenden Arbeit aus. Zuletzt könnte der Anteil an Patienten mit einem AHL einen bedeutsamen Einfluss genommen haben. Untersuchungen in der gegenwärtigen Literatur beschreiben, dass Patienten mit einem AHL sowohl prä-, als auch postoperativ eine höhere gesundheitsbezogene Lebensqualität aufweisen als solche mit einer beidseitigen Ertaubung (DSD). Hierbei wird die einseitige Hörspeisung durch Hörhilfen bei AHL-Patienten als ursächlich für die bessere gesundheitsbezogene Lebensqualität angesehen, wohingegen bei DSD-Patienten dieser Kompensationsmechanismus, insbesondere hinsichtlich der sozialen Lebensqualität, fehle (141,142). Zusätzlich zeigt sich in diesem Kontext auch ein Einfluss des Alters, wobei Patienten unter 80 Jahren im Studienvergleich eine bessere Lebensqualität erzielen als ältere (141,114). In Projektion auf die vorliegende Arbeit lässt sich ein Verhältnis von 11 AHL-Patienten zu 13 DSD-Patienten im Alter von 65 – 79 Jahren feststellen. Der asymmetrische Hörverlust entspricht somit einem Anteil von 46% in der Kohorte der Patienten bis 79 Jahre, wodurch sich unter Zusammenschau der diskutierten Faktoren die präoperativ höheren NCIQ-Werte der vorliegenden

Arbeit erklären ließen. Der Anteil an Patienten mit DSD betrug in der Referenzstudie der eigenen Arbeitsgruppe aus 2016 hingegen 78%, was die Diskrepanz der NCIQ-Ausgangswerte weiterhin erklären könnte.

Im Rahmen der NCIQ wurde eine postoperative Tragedauer von 11,85h am Tag in der vorliegenden Population ermittelt. Diese verhältnismäßig lange Tragedauer am Tag wurde auch in anderen Studien (96,115,143) annähernd ermittelt und spiegelt die Akzeptanz des Implantates wider, welche sich im Versorgungserfolg bei den Patienten zeigte.

Resümierend zeigte sich bei den untersuchten Patienten eine subjektive Verbesserung im Bereich der grundlegenden Wahrnehmung von Geräuschen (v.a. Hintergrundgeräuschen) und im Bereich sprachrelevanter Konversationen, was einen Zugewinn an Lebensqualität zur Folge hatte. Diese Aspekte lassen sich auch in Einklang mit den hier erhobenen sprachaudiometrischen Messungen bringen und unterstreichen deren objektive Bedeutung. Die Ergebnisse anderer Arbeiten bestätigen diese Beobachtung. Präoperativ wurde eine vergleichsweise hohe Lebensqualität in der untersuchten Kohorte angegeben, welche sich im Gegensatz zu bisherigen Studien postoperativ nicht signifikant verbesserte (mit Ausnahme der Domäne Schallwahrnehmung). Dabei sind multifaktorielle Gründe, wie eine Verzerrung durch positive Selektion und ein verhältnismäßig hoher Anteil an Patienten mit einem asymmetrischen Hörverlust diskutabel, die zu einer konstant hohen Lebensqualität vor und nach CI-Versorgung ohne signifikant messbare Verbesserung führten. Das CI wurde etwa die Hälfte des Tages getragen, was die besondere Akzeptanz der Versorgung hinsichtlich des Hörvermögens und der Lebensqualität widerspiegelt.

### **5.3.2. Allgemeine Depressionsskala**

Die Allgemeine Depressionsskala wurde in der vorliegenden Arbeit in der Langform gewählt. Im Gegensatz zum OI und zur NCIQ ist die ADS-L ein hörenspezifischer Fragebogen, der auch außerhalb der Versorgung mit Hörgeräten Verwendung findet und in dieser Arbeit einen Aufschluss über mögliche depressive Symptome innerhalb der Patientenkohorte geben sollte. Das Screening auf Depressivität erfolgte, um die psychosozialen Auswirkungen des Hörens zu untersuchen. Präoperativ fand sich in der vorliegenden Kohorte ein ADS-L – Mittelwert von 11,17, welcher nach 12 Monaten postoperativ keine signifikante Verbesserung zeigte (12,54 Punkte). Im Mittel war zu keinem Messzeitpunkt eine erhöhte Depressivität in der Kohorte feststellbar. Dennoch konnte präoperativ bei 2 Patienten ein ADS-L – Wert  $> 23$  gemessen werden, was sich nach 12 Monaten unverändert darstellte. In Anlehnung an die Überlegung, dass eine depressive Symptomatik auch kognitive Einbußen im Sinne einer Pseudodemenz fördern könnte, erfolgte bei den 2 beschriebenen Patienten die Evaluation zur weiteren Tauglichkeit einer Studienteilnahme. Hierbei zeigte sich bei einem Patienten eine teilweise überdurchschnittliche hohe Intelligenzleistung über alle Messzeitpunkte bei konstanter ADS-L-Einschätzung. Bei dem zweiten Patienten wurde eine signifikante Verbesserung beider Indices im durchschnittlichen Intelligenzbereich bei leicht steigender ADS-L-Summe über die

verschiedenen Messzeitpunkte beobachtet. Dahingehend konnte eine retrospektive Tauglichkeit zum Einschluss der Patienten mit depressiven Symptomen gewährleistet werden. Begründet werden kann diese Entscheidung aufgrund der Tatsache, dass überdurchschnittlich hohe Intelligenzquotienten kognitiven Dysfunktionen im Rahmen einer möglichen Pseudodemenz widersprechen und in diesem Fall unabhängig von subjektiv eingeschätzten depressiven Symptomen gewertet werden können. Zum anderen wurde bei dem zweiten Patienten trotz subjektiv verstärkter Wahrnehmung depressiver Symptome nach Operation eine deutlich verbesserte Intelligenzleistung gemessen, was der Annahme einer kognitiven Dysfunktion durch Depressivität ebenfalls entgegensteht.

In einigen vorangegangenen Studien konnte unter Verwendung der ADS-L ebenfalls festgestellt werden, dass bei älteren CI-Trägern weder prä- noch postoperativ eine depressive Symptomatik im Vordergrund stand. So zeigten beispielsweise Knopke et al. (2016) einen präoperativen ADS-L-Score von 16,5 sowie einen postoperativen Score von 15,3 bei einer Kohorte von 17 Patienten über 80 Jahren. Dabei konnte kein Einfluss einer CI-Versorgung auf die Depressivität festgestellt werden (112). In späteren Untersuchungen von Knopke et al. (2019) konnten niedrige ADS-L – Werte bei 86 Patienten über 70 Jahren präoperativ (15,3) und postoperativ (14,3) reproduziert werden (144). Dem gegenüber stehen Studien, die einen signifikanten Effekt einer CI-Versorgung auf eine im Follow-Up bessernde depressive Symptomatik zeigten. So beschreiben Mosnier et. al (2015) in ihrer Studie mit 94 CI-Patienten über 65 Jahren eine Verbesserung der depressiven Symptomatik bei 17% der Patienten im Follow-Up, gemessen an der Geriatric Depression Scale (82). Auch in der Untersuchung von Poissant et al. (2008) zeigte sich postoperativ eine verminderte Depressivität (111).

Zusammenfassend zeigte sich vorliegend weder prä- noch postoperativ eine signifikante Veränderung der Depressivität durch das CI, wobei in der Literatur diesbezüglich ein heterogenes Bild feststellbar ist. Einige Studien, die die ADS-L in diesem Kontext zur Evaluation nutzten, konnten keinen Einfluss der CI-Versorgung auf depressive Symptome älterer Patienten zeigen, da auch hier bei älteren Patienten ein niedriges Depressivitätsniveau gemessen wurde. Auch hier könnte die Größe der Population und somit die Erfassung von Patienten mit depressiven Symptomen eine Rolle spielen, da in Studien mit größerer Patientenzahl (vgl. Mosnier et al.; Castiglione et al.; Poissant et al.) ein CI-assoziierter Effekt auf die Depressivität gezeigt werden konnte, wobei teilweise auch jüngere Patienten betrachtet worden sind. Allerdings ist die Vergleichbarkeit hier aufgrund des unterschiedlichen Assessments in der Depressivitätsbestimmung begrenzt. Ein weiterer Punkt könnte in der vorhandenen Patientenkohorte liegen. Zum einen wurden aufgrund der Compliance nicht alle Bögen hinsichtlich der ADS-L ausgefüllt, zum anderen wies die Kohorte keine repräsentativ erhöhte Depressivität auf, die durch ein CI eventuell hätte beeinflusst werden können.

## **5.4. Diskussion der Ergebnisse und Methodik der Kognition**

### **5.4.1. Wechsler Intelligence Scale for Adults, 4. Edition**

Das in dieser Arbeit verwendete Verfahren zur Testung der Kognitionsparameter war die WAIS der 4. Edition, welche 2012 deutschsprachig adaptiert wurde. Die Auswahl der WAIS-IV für die vorliegende Arbeit erfolgte anhand mehrerer Kriterien. Einerseits ermöglicht die WAIS-IV eine differenzierte und unabhängige Testung neuropsychologischer Items, wie dem Arbeitsgedächtnis und der Verarbeitungsgeschwindigkeit, die im Kontext des Hörvermögens bedeutsam erschienen. Zudem konnte die WAIS-IV als qualitatives Messinstrument für klinische Vergleichsstudien evaluiert werden, wobei sie hinsichtlich ihrer Konzeption auf gängige Intelligenztheoretische Modelle, wie dem Cattell-Horn-Modell, gestützt wurde (145,146). Andererseits erlaubt die WAIS-IV eine Testdurchführung, unter Berücksichtigung methodisch genannter Empfehlungen, an Patienten mit Hörstörungen und weist auch bei älteren Probanden über 65 Jahren eine konstante Messqualität auf (147). Normierte Referenztabellen gewährleisten darüber hinaus einen Vergleich zwischen der altersbezogenen Kontrollgruppe, was insbesondere im Hinblick auf die kognitive Testung Schwerhöriger eine notwendige Option ist. Unter Zusammenschau dieser Aspekte eignete sich die WAIS-IV für die vorliegende Arbeit als hervorragendes Assessment. Wenngleich die Anwendung als reliabel und valide erprobt wurde, müssen dennoch im Kontext dieser Arbeit einige Punkte beachtet werden. In einer aktuellen Studie von Ovsiew et al. (2020) wird hervorgehoben, dass die Testanwendung der WAIS-IV insbesondere bei Patienten mit vorbestehenden kognitiven Defiziten hinsichtlich der Testsensitivität (u.a. der Messung der Verarbeitungsgeschwindigkeit) limitiert sei. Hierbei wird insbesondere auf erhöhte falsch-positive Ergebnismraten verwiesen (148,149). Zudem müssen neben dem Einfluss der Hörstörung auch weitere Aspekte bei der Interpretation der Testergebnisse berücksichtigt werden. So sollte diskutiert werden, welche möglichen Ursachen dem präoperativen Intelligenzstatus der vorliegenden Patientengruppe zugrunde lagen: Hatte das Hörvermögen oder der individuelle Entwicklungsstand (Bildung, intellektuelle Kompetenz) der einzelnen Person einen prägenden Einfluss auf den prä- bzw. postoperativen IQ? Um auf diese Überlegung näher einzugehen, werden folglich die untersuchten Indices diskutiert.

### **5.4.2. Arbeitsgedächtnis**

Das Arbeitsgedächtnis, als Zwischenspeicher für veränderbare Informationen, ist im Rahmen einer altersbedingten Schwerhörigkeit mehrfach als eingeschränkt beschrieben worden (29,31). In der vorliegenden Arbeit konnte ein mittlerer präoperativer  $IQ_{AGD}$  von 93,94 ermittelt werden. Dieser Wert entspricht einer durchschnittlichen Intelligenzverteilung hinsichtlich des Arbeitsgedächtnisses. Verglichen mit einer gleichaltrigen, gesunden Kohorte, entspricht der ermittelte  $IQ_{AGD}$  einem mittleren Prozentrang von 39,06. Dieser Wert lässt annehmen, dass gut ein Drittel aller Gleichaltrigen ein ähnliches oder schlechteres Ergebnis erzielen würden. Kontextualisiert man diese Annahme, so lässt sich feststellen, dass jedoch mehr als die Hälfte der Patienten in der gleichaltrigen Vergleichsgruppe

bessere Ergebnisse erzielt hätten. Hieraus ergibt sich der Verdacht, dass das präoperative Arbeitsgedächtnis in der vorliegenden Kohorte nicht nur einer altersbedingten Abnahme der fluiden Intelligenz unterlag, sondern möglicherweise noch weiteren Faktoren. Die entsprechenden Untertests ZN und RD erreichten präoperativ einen Mittelwert von 23,03 bzw. von 13,21 Punkten. Im postoperativen Follow-Up fand sich eine nicht-signifikante Verbesserung des IQ<sub>AGD</sub> auf 96,58 (um 2,64 Punkte), wobei sich auch die entsprechenden Untertests nicht-signifikant verbesserten und folglich ein höherer Prozentrang von 42,42 als vor der Operation resultierte, was entgegen der Annahme steht, dass die Exekutivfunktionen mit steigendem Alter abnehmen. Hierbei zeigt sich also ein Effekt der CI-Operation auf die kognitive Kapazität älterer Patienten, wenngleich diese noch nicht als statistisch signifikant berechnet werden konnte. Auch in der aktuellen Literatur stellt sich die Frage, welchen Einfluss eine Hörrehabilitation auf das (Arbeits-)Gedächtnis hat, wobei sich hier bereits mehrfach eine Verbesserung der Exekutivfunktionen nach CI-Versorgung zeigte (82,83,99,102,104,133). Nachfolgend sollen diese Aspekte im Kontext der eigenen Ergebnisse diskutiert werden.

#### **5.4.3. Einfluss des Hörvermögens auf das Arbeitsgedächtnis**

Hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen Hören und Gedächtnisleistung wurden einige erklärende Modelle entwickelt, wie die *Cognitive Load Theory* oder das *ELU-Modell nach Rönning*. Hierbei wird erläutert, dass eine verminderte Hörleistung zu einer Abnahme exekutiver Gedächtnisfunktionen führt, da kognitive Ressourcen in der Bearbeitung des Gehörten (vervollständigen, kodieren) gebunden sind (44,48). Die entsprechenden WAIS-Untertests „Zahlen nachsprechen“ und „Rechnerisches Denken“ wurden dahingehend so konzipiert, dass einerseits der auditorische Input gewährleistet sein muss (bottom-up) und andererseits, insbesondere im ZN-R und ZN-S, die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses (top-down). Hypothetisch wäre demnach anzunehmen, dass eine verminderte Hörleistung zu einer Entkoppelung der bottom-up-Prozesse und demnach zu einem schlechteren Testoutcome führen würde. Möglicherweise lässt sich dahingehend der präoperative Einfluss des Hörvermögens auf den IQ<sub>AGD</sub> diskutieren. So könnte entsprechend der Cognitive Load Theory und des ELU-Modells eine erhöhte Anforderung an das Sprachverstehen bestanden haben, welche die Arbeitsgedächtnisfunktion in der vorliegenden postlingual ertaubten Kohorte gebunden haben könnte und den entsprechend niedrigen präoperativen Prozentrang von 39,06 erklären könnte. Jedoch bleibt diese Überlegung vorerst zu mutmaßen, da keine signifikanten Zusammenhänge präoperativ zwischen dem (subjektiven) Hörvermögen und dem IQ<sub>AGD</sub> berechnet werden konnten, wobei ein tatsächlicher Zusammenhang jedoch nicht ausgeschlossen werden kann. Zur weiteren Klärung lassen sich die entsprechenden Untertests ZN und RD einbeziehen. Hier zeigte sich präoperativ eine fast signifikante Korrelation zwischen dem ZN und dem OI-Störgeräusch, was die Hypothese des verminderten Arbeitsgedächtnisses bei vermindertem Hörvermögen statistisch zwar nicht bestätigen kann, aber dennoch darauf hindeuten könnte. Dieser Aspekt wäre auch insofern schlüssig, da die Patienten beim ZN neben dem rein auditorischen Input auch eine Anforderung an das Gedächtnis

haben, um die gemerkten Ziffernfolgen wiederzugeben. Der RD wies präoperativ keinen annähernden Zusammenhang mit der subjektiven Hörleistung auf, was in Bezug auf die Verständlichkeit der teils komplexen Aufgabenstellungen fragwürdig erscheint. Auch postoperativ konnte ebenfalls keine signifikante Korrelation zum subjektiven Hörvermögen, jedoch auch keine zu den sprachaudiometrischen Ergebnissen, hergestellt werden.

Diese Ergebnisse in den Kontext der aktuellen Literatur zu setzen gestaltet sich schwierig. Bisher sind keine Studien an Patienten über 65 Jahren, die vor oder nach CI-Versorgung einer WAIS-IV-Testung unterzogen worden sind, zu eruieren. Der primäre Fokus bezüglich von WAIS-Testungen in diesem Kontext liegt derzeit auf CI-tragenden Kindern und Heranwachsenden. An dieser Stelle kann jedoch eine andere Studie herangezogen werden, die im Kontext der Kognitionstestung bei CI-Trägern andere Testverfahren wählte. So wurden in der Studie von Völter et al. (2018) bei 60 älteren Patienten zwei Testverfahren zur Überprüfung des Arbeitsgedächtnisses angewandt, zum einen der n-back-Test, zum anderen die operation-span-task. Bereits nach 6 Monaten verbesserte sich das Arbeitsgedächtnis, gemessen am n-back-Test, signifikant und nach 12 Monaten, gemessen am operation-span-task, weiterhin. Die Autoren erklären diese Beobachtung durch die Verminderung des Cognitive Load – Effekts nach CI-induzierter Hörverbesserung, wobei auch hier den Autoren keine signifikante Korrelation zwischen postoperativ verbessertem Arbeitsgedächtnis und Sprachverstehen gelang. Betont wurde jedoch, dass insbesondere Patienten mit präoperativ niedrigen kognitiven Kapazitäten nach 12 Monaten stärkere Verbesserungen zeigten, als jene mit präoperativ höheren kognitiven Ergebnissen (102). Kritisch zu werten ist hier jedoch die Auswahl der Testverfahren, da sowohl der n-back-Test, als auch die operation-span-task, primär eine Anforderung an die visuelle Wahrnehmung stellen und nicht an die auditive, wie es beim ZN oder RD der Fall ist. Zu einem ähnlichen Resümee sind Jayakody et al. (2017) gekommen, indem eine Verbesserung der Arbeitsgedächtniskapazität nach CI-Versorgung bei älteren Patienten laut Autoren auf der Verringerung des Cognitive Load beruht. Auch in dieser Untersuchung wurde das Arbeitsgedächtnis nonverbal über einen Test mit hohem visuellen Anteil, dem spatial working memory-Test, gemessen (83). Weitere Untersuchungen befassten sich primär mit der Auswirkung einer CI-Versorgung auf andere Gedächtnisbereiche, wie dem Langzeitgedächtnis, wobei auch hier nach 12 Monaten postoperativ signifikante Verbesserungen berichtet worden sind (82,99,150). Diesbezüglich gelang Mosnier et al. (2015) eine Korrelation zwischen dem Langzeitgedächtnis und dem Sprachverstehen im Störgeräusch nach 12 Monaten postoperativ (82).

Im Hinblick auf die aktuelle Literatur lässt sich eine Verbesserung des Arbeitsgedächtnisses nach CI-Versorgung bei älteren Patienten zusammenfassen. Hierbei gelang postoperativ jedoch keine Korrelation zwischen den kognitiven Testergebnissen und dem Sprachverstehen der Patienten. Es wurden zudem überwiegend nonverbale Testinstrumente zur Überprüfung des Arbeitsgedächtnisses verwendet. Hinsichtlich der Ergebnisse der eigenen Arbeit kann geschlussfolgert werden, dass sich das postoperative Arbeitsgedächtnis nach 12 Monaten zwar nicht signifikant veränderte, aber

dennoch verbesserte. Ein Unterschied zwischen den Studien in der Literatur und der vorliegenden Arbeit ist das verwendete Testverfahren, wobei die WAIS-IV einen stärkeren Fokus auf die verbale Erfassung der Arbeitsgedächtniskapazität legt. Möglicherweise eignet sich die WAIS-IV dahingehend für die Evaluation der Kognition nach CI-Versorgung besser als andere Testverfahren. Zudem erlaubt die WAIS-IV auch eine international anerkannte Einteilung der kognitiven Fähigkeiten mittels Intelligenzquotienten, welche bezüglich der Vergleichbarkeit transparent und universell erscheinen. Anhand des Einflusses des Sprachverstehens kann an dieser Stelle jedoch nicht geklärt werden, warum sich das Arbeitsgedächtnis nach 12 Monaten nicht ähnlich stark veränderte als in den Vergleichsstudien. Die Sprachverständlichkeit scheint nach 12 Monaten hierbei nur eine untergeordnete Rolle einzunehmen, da bisher keine postoperative Korrelation diesbezüglich gelungen ist. Möglicherweise könnte bei älteren Menschen die Adaptation an das erneute „Hörlernen“ im Rahmen der Rehabilitation wiederum kognitive Ressourcen gebunden haben, weswegen vorliegend keine Verbesserung messbar war. Diese Hypothese sollte, um einen statistisch sicheren Nachweis zu erbringen, zukünftig im weiteren Follow-Up getestet werden. Gegebenenfalls könnten sich bestimmte indexbezogene Fähigkeiten erst im Langzeit-Follow-Up nach mindestens 12 Monaten postoperativ verändern. Dabei ist insbesondere auf die verzögerte Lernkurve im Alter Rücksicht zu nehmen, wobei hier eine engmaschige und langfristige Untersuchung von Sprachverstehen und Arbeitsgedächtnis anzustreben ist.

#### **5.4.4. Verarbeitungsgeschwindigkeit**

Die Verarbeitungsgeschwindigkeit vernetzt bottom-up- und top-down-Prozesse, indem sie den Zeitraum von der Informationsaufnahme bis zur Vollendung der zentralen Verarbeitung definiert. Auch hier wäre eine Beteiligung des Hörens, aber auch anderer sensorischer Einflüsse, denkbar. Wie einleitend beschrieben, ist die Bedeutung der Verarbeitungsgeschwindigkeit nach Hörrehabilitation in der gegenwärtigen Literatur noch sehr anfänglich erforscht, wobei hier die Aussagen über die Veränderlichkeit der Verarbeitungsgeschwindigkeit nach CI-Operation differieren. Einige Untersuchungen konnten demnach keinen signifikanten Effekt einer Versorgung auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit feststellen (102), andere hingegen schon (82,83). Hinsichtlich der eigenen Ergebnisse konnte ein mittlerer präoperativer  $IQ_{VG}$  von 96,24 errechnet werden. Auch dieser Wert lag mit einem mittleren Prozentrang von 41,64 im durchschnittlichen Intelligenzbereich, wobei die präoperativen Ergebnisse der Patientenkohorte hierbei etwas besser resultierten, als bei dem  $IQ_{AGD}$ . Der entsprechende WAIS-Untertests „Symbol-Suche“ erreichte einen präoperativen Mittelwert von 19,39 Punkten bzw. der „Zahlen-Symbol-Test“ einen Mittelwert von 47,03 Punkten. Im postoperativen Follow-Up konnte eine hochsignifikante Verbesserung des  $IQ_{VG}$  auf 101,82 festgestellt werden, wobei sich auch beide Untertests signifikant verbesserten. Zudem war ein deutlicher Anstieg des Prozentsatzes auf 54,79 nach 12 Monaten ersichtlich; wobei nun etwa die Hälfte aller gleichaltrigen, hörgesunden Patienten bessere bzw. schlechtere Ergebnisse erzielten. Anders als beim Arbeitsgedächtnis konnte somit eine statistisch nachweisbare Verbesserung der

Verarbeitungsgeschwindigkeit in der vorliegenden Kohorte nach CI-Versorgung gemessen werden. Zur Kontextualisierung dieser Ergebnisse, soll die Verarbeitungsgeschwindigkeit nachfolgend im Kontext des Hörens diskutiert werden.

#### **5.4.5. Einfluss des Hörvermögens auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit**

Angenommen wird, dass ein erschwertes Hören die kognitive Verarbeitungskaskade blockiert und somit, neben der Bindung wertvoller Ressourcen, die zentralen top-down-Prozesse inhibiert (53,54). Hierbei scheint eine Hörstörung im Alter vor allem Verarbeitungsprozesse in auditorischen Arealen des Temporallappens zu hemmen, was folglich ein zentral herab reguliertes Satzverstehen im Störgeräusch zur Folge hat (53) und demnach die Verringerung der kognitiven Verarbeitung erneut fördert. Präoperativ schien in der vorliegenden Arbeit kein Zusammenhang zwischen dem  $IQ_{VG}$ , den entsprechenden Untertests SYS und ZST sowie dem subjektiven Hören zu bestehen. Postoperativ nach 12 Monaten konnte jedoch eine signifikante Determination des Untertests SYS durch den OLSA festgestellt werden. Die postoperative Abnahme der Sprachverständlichkeitsschwelle führte zu verbesserten Rohwertpunkten in der Symbol-Suche. Diese Beobachtung greift den genannten Punkt der herabgesetzten Sprachverständlichkeit im Störgeräusch bei niedriger Verarbeitungsgeschwindigkeit wieder auf: Die nach CI-Versorgung signifikant verbesserte Sprachdiskrimination im Störgeräusch scheint den Kreislauf zwischen verminderter Verarbeitungsfähigkeit durch entkoppelte bottom-up-Prozesse durchbrochen zu haben. Da der Untertests der Symbol-Suche einen primär visuellen Input erfordert, lässt sich zudem diskutieren, dass eine CI-Versorgung eine Anregung audiovisueller Fähigkeiten erzeugt haben könnte. Untersuchungen von Tremblay et al. (2010) erhärten diese Annahme. Die Autoren konnten bei Patienten mit CI eine weitgehend physiologische Zusammenführung und Verarbeitung visueller und auditiver Reize bei optimaler Höreinstellung beschreiben (151). Auch der Untertest ZST verbesserte sich postoperativ signifikant, wodurch die Hypothese einer audiovisuell gesteigerten Verarbeitung nach CI-Versorgung bekräftigt werden kann. Hierbei konnte jedoch kein Zusammenhang zum Sprachverstehen hergestellt werden, weshalb dem ZST eine untergeordnete Bedeutung in diesem Kontext zukommt.

Auch einige vergleichbare Arbeiten konnten eine verbesserte Verarbeitungsgeschwindigkeit nach CI-Versorgung bei älteren Patienten feststellen, wobei sich hier wiederum ein Vergleich der variablen Testverfahren als schwierig gestaltet. Jayakody et al. (2017) konnten dahingehend eine signifikante Verbesserung der Verarbeitungsgeschwindigkeit, gemessen am reaction time test, bereits nach 6 Monaten postoperativ feststellen und nach 12 Monaten als konstant evaluieren (83). Hierbei wurde die veränderte Verarbeitungsgeschwindigkeit jedoch im Kontext weiterer kognitiver Parameter gewertet und nicht separat ergründet. Auch das verwendete Testverfahren kann kritisch gewertet werden, da hierbei lediglich auf einen visuellen Stimulus eine Reaktion (z.B. Betätigen eines Schalters) erfolgen muss. Höhere kognitive Anforderungen, wie Vergleiche oder Gedächtnisleistung, sind dabei jedoch nicht erforderlich, wie es hingegen aber bei der Symbol-Suche gefordert wird. Auch Mosnier et al. (2015) haben innerhalb ihrer Untersuchung die Verarbeitungsgeschwindigkeit miterfasst

und postoperative Verbesserungen festgestellt (82). Allerdings erfolgte auch hier die globale Interpretation der kognitiven Parameter, weshalb ein differenzierter Vergleich an dieser Stelle schwierig ist. Keine Veränderungen der Verarbeitungsgeschwindigkeit nach CI-Versorgung konnten hingegen Völter et al. (2018) darstellen. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit konnte, gemessen am Trail Test A/B, postoperativ nicht signifikant gebessert gemessen werden (102). Die Autoren erklären in ihrer Ausführung mögliche motorische Behinderungen als ursächlich für die nicht-signifikanten Testergebnisse.

Die gegenwärtige Literatur beschreibt eine Verbesserung kognitiver Fähigkeiten älterer Patienten nach CI-Versorgung, wobei eine separate Untersuchung der einzelnen kognitiven Parameter bisher ausblieb. Folglich kann aus den Vergleichsstudien zwar entnommen werden, dass auch die Verarbeitungsgeschwindigkeit nach der Operation besser wird, allerdings müssen hierbei die zur Anwendung gekommenen Testverfahren hinsichtlich ihrer Sensitivität hinterfragt werden. Die WAIS-IV erlaubt eine dezidierte Messung der Verarbeitungsgeschwindigkeit und greift dabei auch auf kognitiv höher anfordernde Aufgaben zurück. Kritisch muss jedoch bewertet werden, dass hinsichtlich der Anordnung und Konfiguration der Symbole in der WAIS ein gewisser Lerneffekt bestehen könnte. Der Verarbeitungsgeschwindigkeit kommt in der vorliegenden Arbeit eine größere Bedeutung zu als in vergleichbaren Studien, da sie neben einer postoperativ hochsignifikanten Verbesserung auch eine signifikante Korrelation mit dem Hören im Störgeräusch eingeht. Derartige Zusammenhänge sind im Rahmen einer CI-Versorgung bei älteren Patienten bisher noch nicht evaluiert worden. Aufgrund der elementaren Bedeutung der Verarbeitungsgeschwindigkeit beim Informationsfluss von bottom-up- und top-down-Prozessen könnte man hypothesieren, dass Exekutivfunktionen (wie das Arbeitsgedächtnis) erst nach Restauration der Verarbeitungsgeschwindigkeit durch eine CI-Versorgung liberiert werden. So könnten beschleunigte bottom-up-Prozesse postoperativ Informationen schneller in die zentrale Verarbeitung einspeisen, was folglich eine effektivere Abnahme der Cognition Load mit konsekutivem Anstieg weiterer kognitiver Funktionen zu Folge hätte. Diese Hypothese könnte erklären, warum in der vorliegenden Kohorte nur die Verarbeitungsgeschwindigkeit als signifikant besser, allerdings nicht das Arbeitsgedächtnis, beobachtet wurde. Hier wäre es zur weiteren Klärung interessant zu verfolgen, inwieweit sich das Arbeitsgedächtnis im weiteren Follow-Up darstellt – kann eine deutliche Verbesserung evaluiert werden, spräche das für die Annahme, dass die Verbesserung der Verarbeitungsgeschwindigkeit derselben von Exekutivfunktionen temporär vorangestellt ist. Weiterhin unterstützen Ergebnisse anderer Studien diese Annahme, bei denen die Verarbeitungsgeschwindigkeit als stärkerer prädiktiver Faktor für das Sprachverstehen im Störgeräusch angesehen wurde als das Arbeitsgedächtnis (54), was sich mit den vorliegend erreichten Ergebnissen in Einklang bringen lässt. Darüber hinaus könnte eine CI-Versorgung, vermutlich gerade über die Verbesserung der Verarbeitungsgeschwindigkeit, einen Einfluss auf die Aktivität im Temporallappen haben. Neben der auditiven Wahrnehmung scheint auch die audiovisuelle Wahrnehmung nach Implantation anzusteigen. Trotz der Abnahme der fluiden Intelligenz selbst bei gesunden Menschen im Alter, kann eine CI-Versorgung kognitive Fähigkeiten bei postlingual

erlaubten Erwachsenen rehabilitieren. Hierbei sind jedoch noch umfassende Untersuchungen nötig, um die entwickelten Hypothesen zu überprüfen.

## **5.5. Einflussfaktoren Lebensqualität und Depressivität auf die Kognition**

Risiken für eine Abnahme kognitiver Fähigkeiten im Alter, und darüber hinaus für die Entstehung einer Demenz, sind neben einem Hörverlust auch psychosoziale Aspekte. Hierbei stellt die „Lancet Commission on Dementia Prevention, Intervention, insbesondere eine soziale Isolation und eine depressive Erkrankung als erhebliche psychosoziale Risikofaktoren dar (57). Darauf aufbauend wurden in der vorliegenden Arbeit Depressivität und spezifische Lebensqualität (insbesondere die soziale Aktivität und Interaktion) erfragt, um diese Parameter in den Kontext der kognitiven Veränderungen zu stellen. Wie bereits beschrieben, konnten keine Verbesserungen der Depressivität und eine konstant eingeschätzte Lebensqualität nach CI-Versorgung in der vorliegenden Patientenkohorte festgestellt werden. Die soziale Lebensqualität wurde von der untersuchten Kohorte präoperativ am niedrigsten eingeschätzt, dennoch lassen sich in diesem Zusammenhang interessante Beobachtungen bezüglich der postoperativen Entwicklung der Intelligenz anstellen. In den Regressionsanalysen konnte die präoperative soziale Aktivität als Prädiktor für die postoperative Verarbeitungsgeschwindigkeit identifiziert werden. So erreichten Patienten, die präoperativ eine vergleichsweise hohe Lebensqualität im sozialen Bereich angaben, postoperativ höhere IQ-Werte hinsichtlich der Verarbeitungsgeschwindigkeit. Dieser Aspekt wurde im Kontext einer Hörrehabilitation in der gegenwärtigen Literatur bisher noch nicht beschrieben, wobei frühere Untersuchungen bereits Zusammenhänge zwischen der sozialen Aktivität und der Kognition älterer Menschen festgestellt haben. So konnten Lövdén et al. (2005) evaluieren, dass eine hohe soziale Aktivität und Beteiligung im Alter einer Abnahme der Wahrnehmungsgeschwindigkeit entgegenwirken konnte (152). Allerdings gilt es zu beachten, dass hier primär die sensorische Wahrnehmung (a.e. bottom-up-Prozesse) beleuchtet wurde, welche jedoch mit der Verarbeitungsgeschwindigkeit interagiert. Insbesondere in Bezug auf den postoperativen WAIS-Untertest „Symbol-Suche“ zeigte die soziale Aktivität einen signifikanten Einfluss. Bedingt durch die erhöhte psychomotorische Anforderung an soziale Aktivitäten (beispielsweise Beschäftigung im Haushalt, Freizeitaktivitäten, Einkauf, Hobbies), könnte sich diese in der effektiveren Bearbeitung der SYS widerspiegeln und eine plausible Erklärung für den Zusammenhang zwischen Aktivität und Verarbeitungsgeschwindigkeit darstellen.

Es ist also anzunehmen, dass die soziale Aktivität präventiv auf die psychomotorische Geschwindigkeit der Verarbeitung wirkt. Darüber hinaus kann eine soziale Aktivität möglicherweise als unabhängiger Einflussfaktor auf den Versorgungserfolg eines Cochlea Implantats im Hinblick auf kognitive Fähigkeiten diskutiert werden. Dieser Punkt wird zudem dadurch unterstützt, dass die soziale Aktivität auch einen positiven Einfluss auf das postoperative Sprachverstehen im Störgeräusch hat, welches seinerseits wiederum einen Einfluss auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit nach CI-Versorgung nimmt. An dieser Stelle lässt sich die Brücke zwischen verbessertem Hören, sozialer Aktivität und Kognition bilden: Ein CI-bedingt verbessertes Sprachverstehen im Störgeräusch

reaktiviert kognitive Ressourcen (Verarbeitungsgeschwindigkeit), die sich durch eine präoperativ soziale Disposition (hohe Aktivität) unterscheiden. Diese präoperative soziale Disposition erhöht wiederum den Erfolg des Sprachverstehens nach CI-Versorgung.

Bezüglich der Funktion des Arbeitsgedächtnisses konnte präoperativ festgestellt werden, dass die Sprachproduktion (u.a. die Kontrolle und der Ausdruck der eigenen Stimme) signifikant mit dem Untertest „Zahlen nachsprechen“ zusammenhing. Dieser Aspekt erscheint schlüssig, da den Patienten im ZN die Anforderung gestellt wird, die Zahlen verbal und deutlich zu wiederholen. Dieser Zusammenhang konnte nach 12 Monaten jedoch nicht mehr beobachtet werden. Insbesondere die soziale Isolation hat einen Einfluss auf kognitive Funktionen im Alter (70), wobei eine Isolation dahingehend auch ein potentielles Risiko für dementielle Erkrankungen darstellt (57). Die Hypothese, dass durch eine Hörverbesserung nach CI-Versorgung die soziale Isolation abnimmt und die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses steigt, kann anhand der vorliegenden Arbeit nicht hinreichend bewiesen werden. Neben der Re-Evaluation des Arbeitsgedächtnisses im weiteren Follow-Up, sollte hierbei auch die soziale Interaktion weiterhin berücksichtigt werden. Möglicherweise wurden in der vorliegenden Arbeit statistisch zusammenhängende Ergebnisse durch die abnehmende Anzahl an Fragebogenbeantwortung nach 12 Monaten postoperativ verzerrt oder sind zu diesem Zeitpunkt noch nicht messbar gewesen. Diese Überlegungen erscheinen insbesondere vor dem Hintergrund wichtig, da die soziale Lebensqualität der vorliegenden Patienten präoperativ niedriger eingeschätzt worden ist als in anderen Bereichen.

Auch hinsichtlich der Depressivität konnte vorliegend kein signifikanter Einfluss auf die Kognition herausgearbeitet werden. Hierbei gilt zunächst zu unterscheiden, welche Rolle die Depressivität im Hinblick auf die Kognition einnimmt. Ausgehend vom Begriff der „Pseudodemenz“ kann eine depressive Störung kognitive Dysfunktionen (Abnahme der Merk- und Konzentrationsfähigkeit, verlangsamter Antrieb etc.) provozieren. In der vorliegenden Arbeit konnte bei einem Patienten mit hoher ADS-L – Punktsomme auch eine unterdurchschnittliche Leistung des präoperativen Arbeitsgedächtnisses gemessen werden, welches sich postoperativ deutlich besserte. Ein anderer Patient mit depressiver Symptomatik erreichte hingegen präoperativ durchschnittliche Intelligenzquotienten, welche sich postoperativ nicht veränderten. Um eine evidente Aussage darüber anzustellen, inwieweit eine CI-Implantation die Wechselwirkung von Depressivität und Kognition beeinflusst, sollte nach Möglichkeit eine Stichprobe mit repräsentativer präoperativer Depressivität (ggf. auch als Einschlusskriterium) gewählt werden.

Zusammenfassend kann eine hohe soziale Aktivität vor der CI-Versorgung als Prädiktor für eine Verbesserung postoperativer kognitiver Fähigkeiten, wie der Verarbeitungsgeschwindigkeit, anhand der vorliegenden Arbeit evaluiert werden. Der Einfluss einer sozialen Isolation im Alter auf kognitive Fähigkeiten stellt sich gemäß der „Lancet Commission on Dementia Prevention, Intervention, and Care“ als besonderer Risikofaktor für die Entstehung einer Demenz dar, kann jedoch in der eigenen Untersuchung nicht hinreichend belegt werden. Ebenso stellt die Thematik einer Altersdepression

einen risikobehafteten Einfluss auf die Entwicklung dementieller Erkrankungen dar. Auch dieser Aspekt erscheint anhand der vorliegenden Kohorte nicht nachweisbar zu sein. Hierbei könnte eine größere und für psychosoziale Erkrankungen repräsentativere Stichprobe mögliche Limitationen der eigenen Arbeit ausschließen.

## **5.6. Einflussfaktor Hörvermögen auf Lebensqualität und Depressivität**

Inwieweit das Hörvermögen Einfluss auf die Lebensqualität und psychosoziale Komorbiditäten bei älteren Patienten nimmt, ist bereits Gegenstand verschiedener Untersuchungen gewesen (82,113,115,133,141,153), wobei hier ein heterogenes Bild an Ergebnissen vorliegt. So konnten Hirschfelder et al. (2008) feststellen, dass der NCIQ-Total bzw. die NCIQ-Subdomäne Sprachproduktion nach CI-Versorgung der vor allem signifikant mit dem Einsilbenverstehen korrelierten (115). In der betreuenden Arbeitsgruppe (2012) hingegen gelang keine postoperative Korrelation zwischen dem Einsilbenverstehen und der Lebensqualität, gemessen an der NCIQ (113). Im Rahmen einer der Arbeit von Köpke (2019) wurden Korrelationen in einem ähnlichen Versuchsaufbau wie in der vorliegenden Arbeit durchgeführt. Hierbei zeigten sich präoperativ mehrere, teils hochsignifikante Korrelationen zwischen dem subjektiven Hörvermögen, gemessen am OI, und der Lebensqualität, gemessen an der NCIQ. Insbesondere der OI-Gesamtscore korrelierte stark mit der Schallwahrnehmung (NCIQ 1 und 2), der sozialen Aktivität (NCIQ 5) und dem NCIQ-Gesamtwert. Auch zwischen dem NCIQ-Total und dem OI fanden sich mehrheitlich hochsignifikante Korrelationen, in Ausnahme des OI – Richtungshören. Präoperative Korrelationen zwischen der Lebensqualität und dem Sprachverstehen fanden sich hingegen bei Köpke nicht (153). Die beschriebenen Korrelationsverteilungen von Köpke entsprechen in etwa denen der eigenen Arbeit. Geringfügige Unterschiede bestehen jedoch, nicht aber zwischen dem OI und der sozialen Aktivität. Anhand dieser Ergebnisse lässt sich unterstreichen, dass ältere Patienten, die ihr präoperatives Hörvermögen höher einschätzen, auch eine entsprechend höhere gesundheitsbezogene Lebensqualität in fast allen Domänen aufweisen. Des Weiteren gelang Köpke ein präoperativer Zusammenhang zwischen dem OI-Gesamtscore und der Depressivität, gemessen anhand der ADS-L. Diese Beobachtung ließ sich in der vorliegenden Arbeit präoperativ nicht bestätigen, wobei der Mittelwert der ADS-L in der vorliegenden Arbeit etwa 5 Prozentpunkte niedriger war und dahingehend möglicherweise kein fassbarer Zusammenhang für die untersuchte Patientenkohorte bestand. Postoperativ konnte Köpke stärkere Zusammenhänge zwischen dem subjektiven Hörvermögen und der sozialen Lebensqualität (NCIQ 5 + 6) und auch der ADS-L feststellen. Zwar zeigen sich in der eigenen Arbeit im postoperativen Follow-Up auch Tendenzen eines Zusammenhanges zwischen dem subjektiven Hören in Ruhe bzw. dem OI-Gesamtscore und der Abnahme depressiver Symptome, dennoch sind diese in weitaus geringerem Ausmaß als bei Köpke. Lediglich bezüglich der Lebensqualität im Bereich der erweiterten Schallwahrnehmung können nach 12 Monaten postoperativ Zusammenhänge zum subjektiven Hören und OLSA erstellt werden.

Somit zeigt sich in der vorliegenden Arbeit ein postoperativ geringerer Zusammenhang zwischen Hörvermögen, Lebensqualität und Depressivität als in vergleichbaren Untersuchungen. Als Ursachen könnten hier zum einen die vergleichsweise niedrigere Depressivität in der vorliegenden Kohorte diskutiert werden, zum anderen aber auch die Repräsentativität der Stichprobe, da hier nach CI-Versorgung eine konstant eingeschätzte Lebensqualität gemessen werden konnte. Als Gemeinsamkeit bezüglich der Mehrzahl an Vergleichsstudien kann die fehlende Korrelation zwischen der Lebensqualität/Depressivität und der Sprachaudiometrie erkannt werden. Betroffene Patienten scheinen ihre Lebensqualität in unterschiedlichen Bereichen folglich primär über das subjektiv empfundene Hörvermögen zu definieren oder zu erleben. Dahingehend lässt sich auch der postoperative Zusammenhang zwischen dem verbesserten Hören in Ruhe und der Abnahme depressiver Symptome aufzeigen, welcher jedoch nicht an sprachaudiometrischen Daten gemessen werden konnte. Somit scheint die subjektive Art des Hörens für Betroffene weitaus mehr in das Netzwerk psychosozialer Faktoren einzugreifen, als sprachaudiometrisch messbar ist. Das postoperativ verbesserte Sprachverstehen im Störgeräusch hatte jedoch für die vorliegend untersuchten Patienten dennoch einen Einfluss auf die Lebensqualität genommen. Hierbei konnte mittels OLSA die Verbesserung der erweiterten Schallwahrnehmung (also vor allem Konversationen in Ruhe, mit Hintergrundgeräuschen, Telefonate) als Benefit der Lebensqualität objektiviert werden. Dieser Aspekt ist insbesondere für Patienten im Alter von hoher Wichtigkeit, da Kommunikation wiederum ein elementarer Aspekt innerhalb der Sozialisation der betroffenen Kohorte ist.

### **5.7. Wechselwirkungen von Lebensqualität und Depressivität**

Der zuletzt beschriebene Aspekt der Relevanz von Alltagskommunikation lässt sich an dieser Stelle weiter diskutieren. In der vorliegenden Kohorte scheint die Schallwahrnehmung (insbesondere die erweiterte) einen wichtigen Einfluss auf die Lebensqualität zu nehmen. Als Ausgangspunkt konnte die Verbesserung der schallwahrnehmungsbezogenen Lebensqualität nach CI-Versorgung evaluiert werden, was sich im verbesserten Sprachverstehen im Störgeräusch widerspiegelt. Darüber hinaus scheint auch eine potentielle Reduktion depressiver Symptome aus der verbesserten Lebensqualität hinsichtlich der Schallwahrnehmung zu resultieren. Bereits nach 6 Monaten postoperativ ließ sich ein Zusammenhang zwischen der NCIQ 2 und der ADS-L aufzeigen, wobei dieser Zusammenhang im postoperativen Follow-Up noch stärker wurde. Folglich erscheint es für die Patienten der untersuchten Kohorte einen indirekten Benefit bezüglich depressiver Symptome gegeben zu haben: Die CI-assoziierte Verbesserung der Schallwahrnehmung ermöglicht den Patienten eine postoperativ bessere Möglichkeit der Kommunikation, wodurch sich depressive Symptome verringern. Obwohl dieser Zusammenhang nur über den „Umweg“ einer verbesserten Lebensqualität festgestellt werden kann, lässt sich dennoch postulieren, dass ein CI neben der Hörverbesserung auch weitreichende, positive psychosoziale Auswirkungen hat, die sich teilweise untereinander bedingen.

## **5.8. Einflussfaktor Patientenalter auf die Kognition**

In der vorliegenden Arbeit wurde der Versorgungserfolg eines Cochlea-Implantats innerhalb einer Patientenkohorte mit einem Mindestalter von 65 Jahren durchgeführt. Folglich soll abschließend diskutiert werden, welchen Einfluss das Patientenalter auf die angewandten Methoden gehabt haben könnte. Im Fokus soll hierbei die WAIS-IV stehen, welche im Kontext dieser Arbeit als wichtigstes Testinstrument diente. Anhand der WAIS-Normierung ist eine Testung an Personen bis zum 90. Lebensjahr validiert. In der vorliegenden Arbeit wurden zwar zwei hochbetagte Patienten inkludiert, jedoch wies keiner der Patienten ein Alter über 90 Jahre auf, woraufhin der formale Einschluss zur Intelligenzmessung gegeben war. Jedoch zeigte sich in den WAIS-Untertests teilweise ein signifikanter Einfluss eines hohen Patientenalters auf den Erfolg des jeweiligen Tests. So war das Resultat des Untertests „Symbol-Suche“ bei den älteren Patienten dieser Kohorte sowohl vor als auch nach CI-Operation vergleichsweise schlechter als bei jüngeren Patienten mit mindestens 65 Jahren. Auch das Ergebnis des Untertests „Zahlen nachsprechen“ zeigte postoperativ eine signifikant negative Abhängigkeit zum Patientenalter. Einerseits deuten diese Daten bildhaft auf die allgemeine Annahme hin, dass kognitive Funktionen der fluiden Intelligenz mit steigendem Alter abnehmen (27). Andererseits könnte diskutiert werden, dass dadurch bedingt möglicherweise signifikantere Testergebnisse (vor allem bezüglich des Arbeitsgedächtnisses) durch den „Fehler“ eines hohen Alters verzerrt worden sein könnten. Diese Überlegung sollte jedoch nur als rein theoretisch angestellt werden und nicht zum Ausschluss hochbetagter Patienten aus einer Kognitionsstudie führen, da auch Patienten im hohen Alter einen kognitiven Nutzen durch ein CI erfahren können. Vielmehr sollte in zukünftigen Untersuchungen eine Clusterung des Alters vorgenommen werden und das kognitive Outcome unterhalb der Patientengruppen ab 65 Jahren verglichen werden.

## **5.9. Limitationen**

Die vorliegende Arbeit weist hinsichtlich der Methodik und Ergebnisse Limitationen auf. Hierbei ist die ausgewählte Stichprobe als einer der limitierenden Faktoren anzusehen. Wie bereits in den einzelnen Kapiteln kurz umrissen, war in der vorhandenen Patientenkohorte eine Abnahme der Compliance zu verzeichnen. Folglich zeigte sich im Follow-Up eine verminderte Bereitschaft zur Teilnahme an den Fragebögen-Interviews. Auf entsprechende Verbesserungen (kontrollierte Anweisung, exemplarisch gemeinsames Ausfüllen) wurde diesbezüglich bereits verwiesen, wodurch möglicherweise eine konstante Ergebniserzielung hätte erreicht werden können. Ebenso wurde angeführt, welchen Einfluss mögliche Verzerrungen durch eine positive Selektion der Kohorte in Bezug auf die präoperativen NCIQ-Parameter gehabt haben könnte.

Die erfassten kognitiven Indices Arbeitsgedächtnis und Verarbeitungsgeschwindigkeit bündeln vielerlei kognitive Faktoren, die durch eine Hörstörung beeinträchtigt werden können. Darüber hinaus lässt sich der kognitive Zustand einer Person jedoch nicht allein über diese beiden Indices definieren. Auch die kognitive Flexibilität, das logische und induktive Denken und die Kreativität einer Person

könnten Faktoren sein, die möglicherweise miterfasst werden sollten und einen Aufschluss über die fluide Intelligenz nach CI-Versorgung geben könnten. Zudem konnte während der Durchführung der WAIS-Testungen eine Abnahme der Motivation und Konzentration einiger Patienten erfasst werden. Da die Testung des Arbeitsgedächtnisses und der Verarbeitungsgeschwindigkeit in einem Block erfolgte, sollte hier reflektiert werden, ob bei Patienten in höherem Lebensalter (und bei Hörschwerung) nicht womöglich eine kurze Interruption zwischen der Testung der jeweiligen Indices erfolgen sollte. Im WAIS-Handbuch wird hierzu keine Information gegeben, ob der Test en bloc oder mit kurzen Pausen zwischen den einzelnen Indices durchgeführt werden kann.

Im Hinblick auf die Entwicklung einer dementiellen Erkrankung, lässt sich anhand der Veränderung des Arbeitsgedächtnisses und der Verarbeitungsgeschwindigkeit keine direkte Aussage darüber treffen, welche Wechselwirkungen zwischen Hören und Kognition zu einer Demenz führen oder das Entstehungsrisiko reduzieren. Hierbei sollten zukünftige (Langzeit-)Untersuchungen differenziert auf die verschiedenen kognitiven Funktionen eingehen, um diese im Kontext einer Hörstörung umfassend erklären und Wechselwirkungen zu anderen Faktoren darstellen zu können.

## 6. Zusammenfassung

Ein Hörverlust im Alter bedeutet für Betroffene ein weitreichendes Einschneiden des alltäglichen Lebens und führt über soziale Deprivation und steigende Depressivität zur Abnahme kognitiver Funktionen und einem steigendem Demenzrisiko. Inwiefern dabei eine Hörrehabilitation mittels Cochlea Implantat als therapeutische und präventive Option dient, ist Gegenstand der aktuellen Forschung. Insbesondere vor dem Hintergrund der differenzierten Betrachtung kognitiver Funktionen und deren psychosozialen Wechselwirkungen im Alter, war das Ziel dieser Arbeit die multimodale Evaluation einer CI-Versorgung bei Patienten über 65 Jahren im Follow-Up von 12 Monaten. Der primäre Fokus lag auf der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen einer Hörverbesserung und kognitiven Funktionen, wobei auch potentiell einflussnehmende Faktoren (Depressivität, Lebensqualität) einbezogen worden sind. Zudem wurden Wechselwirkungen zwischen psychosozialen Faktoren, Hören und Kognition diskutiert.

Untersucht worden sind 33 postlingual schwerhörige Patienten von mindestens 65 Jahren, die eine unilaterale CI-Versorgung an der Charité – Universitätsmedizin Berlin erhielten. Zur Evaluation des Versorgungserfolges wurden sprachaudiometrische Verfahren (Freiburger Einsilbertest, Oldenburger Satztest), ein kognitives Assessment (Wechsler Intelligenzskala, 4. Edition) und ein standardisiertes Fragebogeninventar (Oldenburger Inventar-Fragebogen, Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire, Allgemeine Depressionsskala) zur Erfassung psychometrischer Parameter verwendet. Die Datenerhebung erfolgte präoperativ und 6 bzw. 12 Monate postoperativ im Follow-Up.

Es zeigte sich eine mindestens signifikante Verbesserung des subjektiven Hörvermögens und des Sprachverstehens in Ruhe sowie im Störgeräusch im postoperativen Follow-Up. Hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten konnte eine hochsignifikante Verbesserung der postoperativen Verarbeitungsgeschwindigkeit evaluiert werden. Hierbei wurde zudem ein postoperativer Zusammenhang zwischen verbessertem Sprachverstehen im Störgeräusch und verbesserter Verarbeitungsgeschwindigkeit hergestellt. Das Arbeitsgedächtnis verbesserte sich nicht-signifikant, wobei auch kein Zusammenhang mit dem Hörvermögen erzeugt werden konnte. Weiterhin konnten signifikante Zusammenhänge zwischen der verbesserten Kognition und psychosozialen Aspekten hergestellt werden. Dabei erscheint insbesondere die präoperative soziale Aktivität einen signifikanten Einfluss auf die postoperative Verarbeitungsgeschwindigkeit zu nehmen. Die gesundheitsbezogene Lebensqualität wurde sowohl prä-, als auch postoperativ konstant hoch eingeschätzt, sodass sich hierbei bis auf die physische Domäne keine signifikanten Verbesserungen nach CI-Versorgung feststellen ließen. In der untersuchten Kohorte wurden depressive Symptome sowohl prä- als auch postoperativ gering eingeschätzt. Dennoch ließ sich beobachten, dass Patienten, die ihr Hörvermögen als subjektiv hoch einschätzten, eine Abnahme depressiver Symptome zeigten.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung bekräftigen den sprachaudiometrischen Benefit auch für ältere CI-Patienten, welcher in einer Vielzahl an vorherigen Studien festgestellt wurde. Die Einordnung

der kognitiven Leistung in den Kontext einer Hörstörung wurde bisher anhand theoretischer Modelle beschrieben, wobei die aktuelle Annahme ist, dass ein vermindertes Hörvermögen zu einer Überlastung der kognitiven Kapazität führt und infolgedessen wichtige Exekutivfunktionen (wie Arbeitsgedächtnis und Verarbeitungsgeschwindigkeit) abnehmen. Darauf aufbauend konnten Studien in Grundzügen feststellen, dass die Hörrehabilitation im Sinne einer CI-Versorgung hierbei einen signifikant verbessernden Einfluss auf die kognitive Funktion nimmt. Eine differenzierte Betrachtung einzelner kognitiver Indices (insbesondere der Verarbeitungsgeschwindigkeit) blieb bisher jedoch aus. Zudem wurden bisher kaum Zusammenhänge zwischen den einzelnen Risikofaktoren einer kognitiven Dysfunktion und Demenz (Hörstörung, soziale Isolation, Depression) kontextualisiert, sodass die vorliegende Arbeit hierbei eine Wissenschaftslücke schließt und den kognitiven Benefit einer CI-Versorgung im Alter unterstreicht. Die nicht-signifikante Verbesserung des Arbeitsgedächtnisses steht im Gegensatz zu vergleichbaren Untersuchungen. Zu diskutieren sei in diesem Kontext eine mögliche zeitversetzte Verbesserung des Arbeitsgedächtnisses, da zunächst die Verarbeitungsgeschwindigkeit diejenigen bottom-up- und top-down-Prozesse reaktiviert, die im Rahmen einer Hörstörung Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses gebunden haben könnten.

Abschließend konnte der CI-Versorgungserfolg innerhalb einer älteren Patientenkohorte anhand eines verbesserten Sprachverstehens, verbesserten kognitiven Indices und Zunahme der physischen Lebensqualität festgestellt werden. Hierbei scheint die Verarbeitungsgeschwindigkeit als sensitiver Marker einer Hörverbesserung zu fungieren. Zudem scheint auch die soziale Aktivität als Prädiktor einer kognitiven Verbesserung maßgeblich beteiligt zu sein. Weitere Langzeituntersuchungen sind notwendig, um die Nachhaltigkeit der gemessenen kognitiven Verbesserungen zu reproduzieren und um das Assessment im Hinblick auf die Untersuchung einer potentiellen Risikoreduktion einer Demenz zu erweitern.

## 7. Literaturverzeichnis

1. Zenner HP. Die Kommunikation des Menschen: Hören und Sprechen. In: Schmidt RF, Thews G, editors. Physiologie des Menschen. Berlin, Heidelberg: Springer; 1997. p. 259–77. DOI: 10.1007/978-3-662-00485-2\_15
2. Streppel M, Walger M, von Wedel H, Gaber E. Gesundheitsberichterstattung des Bundes Hörstörungen und Tinnitus. Heft 29. Berlin: Robert-Koch-Institut; 2006
3. Robert-Koch-Institut. Hörbeeinträchtigungen. Faktenblatt zur GEDA 2012: Ergebnisse der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell 2012“. Berlin: Robert-Koch-Institut; 2014. [https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsF/Geda2012/Hoerbeeintraechtigungen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsF/Geda2012/Hoerbeeintraechtigungen.pdf?__blob=publicationFile) , accessed July 11, 2020.
4. Mathers C, Smith A, Concha M. Global burden of hearing loss in the year 2000. Glob Burd Dis. 2000;18(4):1–30.
5. Zahnert T. Differenzialdiagnose der Schwerhörigkeit. Dtsch Arztebl Int. 2011;108(25):433–44. <https://www.aerzteblatt.de/int/article.asp?id=93893>, accessed July 11, 2020.
6. GBD 2016 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. Lancet. 2017;390(10100):1211–59. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)32154-2
7. von Gablenz P, Hoffmann E, Holube I. Prävalenz von Schwerhörigkeit in Nord- und Süddeutschland. HNO. 2017;65(8):663–70. DOI: 10.1007/s00106-016-0314-8
8. Heger D, Holube I. Wie viele Menschen sind schwerhörig? Zeitschrift für Audiologie (Audiological Acoustics). 2010 May 1;49:61–70.
9. Mazurek B, Stöver T, Haupt H, Gross J, Szczepek A. Die Entstehung und Behandlung der Presbyakusis. HNO. 2008;56(4):429–35. DOI: 10.1007/s00106-008-1676-3
10. Hesse G, Eichhorn S, Laubert A. Hörfähigkeit und Schwerhörigkeit alter Menschen. HNO. 2014;62(9):630–9. DOI: 10.1007/s00106-014-2903-8
11. Fischer VM. Schwerhörigkeit, ein unvermeidbares Schicksal? ATOSnews. 2012;48.
12. Falah M, Farhadi M, Kamrava SK, Mahmoudian S, Daneshi A, Balali M, Asghari A, Houshmand M. Association of genetic variations in the mitochondrial DNA control region with presbycusis. Clin Interv Aging. 2017 Mar 3;12:459–65. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5344408/>, accessed July 12, 2020.

13. Baur M, Fransen E, Tropitzsch A, van Laer L, Mauz PS, Van Camp G, Blin N, Pfister M. Einfluss exogener Faktoren auf Altersschwerhörigkeit. *HNO*. 2009;57(10):1023–8. DOI: 10.1007/s00106-009-1900-9
14. Löhler J, Cebulla M, Shehata-Dieler W, Volkenstein S, Völter C, Walther LE. Schwerhörigkeit im Alter - Erkennung, Behandlung und assoziierte Risiken. *Dtsch Arztebl Int*. 2019 Apr 26;116(17):301–10. <https://www.aerzteblatt.de/int/article.asp?id=206888>, accessed July 12, 2020.
15. Dalton DS, Cruickshanks KJ, Klein BEK, Klein R, Wiley TL, Nondahl DM. The impact of hearing loss on quality of life in older adults. *Gerontologist*. 2003;43(5):661–8.
16. Chew HS, Yeak S. Quality of life in patients with untreated age-related hearing loss. *J Laryngol Otol*. 2010 Aug;124(8):835–41.
17. WHOQOL Group. Development of the World Health Organization WHOQOL-BREF Quality of Life Assessment. *Psychol Med*. 1998/05/01. 1998;28(3):551–8. DOI: 10.1017/ s0033291798 006667
18. Chia E-M, Wang JJ, Rochtchina E, Cumming RR, Newall P, Mitchell P. Hearing Impairment and Health-Related Quality of Life: The Blue Mountains Hearing Study. *Ear Hear*. 2007;28(2). [https://journals.lww.com/ear-hearing/Abstract/2007/04000/Hearing\\_Impairment\\_and\\_Health\\_Related\\_Quality\\_of.6.aspx](https://journals.lww.com/ear-hearing/Abstract/2007/04000/Hearing_Impairment_and_Health_Related_Quality_of.6.aspx), accessed July 14, 2020.
19. Ciorba A, Bianchini C, Pelucchi S, Pastore A. The impact of hearing loss on the quality of life of elderly adults. *Clin Interv Aging*. 2012/06/15. 2012;7:159–63. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3393360/>, accessed July 14, 2020.
20. Mick P, Kawachi I, Lin FR. The Association between Hearing Loss and Social Isolation in Older Adults. *Otolaryngol Neck Surg*. 2014 Jan 2;150(3):378–84. DOI: 10.1177/0194599813518021
21. Schweizer K. Intelligenz. In: *Leistung und Leistungsdiagnostik*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2006. p. 2–15. DOI: 10.1007/3-540-33020-8\_1
22. Uchida Y, Nishita Y, Tange C, Sugiura S, Otsuka R, Ueda H, Nakahima T, Ando F, Shimokata H. The Longitudinal Impact of Hearing Impairment on Cognition Differs According to Cognitive Domain. *Front Aging Neurosci*. 2016;8:201. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnagi.2016.00201/full>, accessed July 14, 2020.
23. Schneider WJ, McGrew KS. The Cattell-Horn-Carroll model of intelligence. In: *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues*, 3rd ed. New York, NY, US: The Guilford Press; 2012. p. 99–144.
24. Cattell RB. Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *J Educ Psychol*. 1963;54(1):1.

25. Myers D. Intelligenz. In: *Psychologie: 2. erweiterte Auflage*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2008. p. 483-487
26. Macha T, Petermann F. Psychologische Tests in der Pädiatrie. *Monatsschrift Kinderheilkd.* 2006;154(4):298–304. DOI: 10.1007/s00112-006-1309-4
27. Murman DL. The Impact of Age on Cognition. *Semin Hear.* 2015 Aug;36(3):111–21. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4906299/>, accessed July 15, 2020.
28. Batterham PJ, Christensen H, Mackinnon AJ. Fluid intelligence is independently associated with all-cause mortality over 17 years in an elderly community sample: An investigation of potential mechanisms. *Intelligence.* 2009;37(6):551–60. DOI: 10.1016/j.intell.2008.10.004
29. Uchida Y, Sugiura S, Nishita Y, Saji N, Sone M, Ueda H. Age-related hearing loss and cognitive decline — The potential mechanisms linking the two. *Auris Nasus Larynx.* 2019;46(1):1–9. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0385814618304589>, accessed July 15, 2020.
30. Gurgel RK, Ward PD, Schwartz S, Norton MC, Foster NL, Tschanz JT. Relationship of hearing loss and dementia: a prospective, population-based study. *Otol Neurotol.* 2014 Jun;35(5):775–81. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4024067/>, accessed July 16, 2020.
31. Lin FR, Yaffe K, Xia J, Xue Q-L, Harris TB, Purchase-Helzner E, Satterfield S, Ayonayon HN, Ferrucci L, Simonsick EM, Health ABC Study Group. Hearing loss and cognitive decline in older adults. *JAMA Intern Med.* 2013 Feb 25;173(4):293–9. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3869227/>, accessed July 19, 2020.
32. Lin FR, Albert M. *Hearing loss and dementia—who is listening?* Taylor & Francis; 2014. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4075051/>, accessed July 19, 2020.
33. Choi I, Lee J-Y, Lee S-H. Bottom-up and top-down modulation of multisensory integration. *Curr Opin Neurobiol.* 2018;52:115–22. DOI: 10.1016/j.conb.2018.05.002
34. Friederici AD. Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends Cogn Sci.* 2002 Feb;6(2):78–84.
35. Shuai L, Gong T. Temporal relation between top-down and bottom-up processing in lexical tone perception. *Front Behav Neurosci.* 2014 Mar 25;8:97. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3971173/>, accessed July 22, 2020
36. Lin FR, Ferrucci L, An Y, Goh JO, Doshi J, Metter EJ, Davatzikos C, Kraut MA, Resnick SM. Association of hearing impairment with brain volume changes in older adults. *Neuroimage.* 2014 Apr;90:84–92.

37. Campbell J, Sharma A. Compensatory changes in cortical resource allocation in adults with hearing loss. *Front Syst Neurosci.* 2013;7:71. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnsys.2013.00071>, accessed July 22, 2020.
38. Belkhiria C, Vergara RC, San Martín S, Leiva A, Marcenaro B, Martinez M, Delgado C, Delano PH. Cingulate Cortex Atrophy Is Associated With Hearing Loss in Presbycusis With Cochlear Amplifier Dysfunction. *Front Aging Neurosci.* 2019;11:97. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnagi.2019.00097>, accessed July 22, 2020.
39. Schneider B.A., Pichora-Fuller K., Daneman M. Effects of Senescent Changes in Audition and Cognition on Spoken Language Comprehension. In: Gordon-Salant S., Frisina R., Popper A., Fay R. (eds) *The Aging Auditory System.* Springer Handbook of Auditory Research, vol 34. Springer, New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4419-0993-0\_7
40. Sardone R, Battista P, Panza F, Lozupone M, Griseta C, Castellana F, et al. The Age-Related Central Auditory Processing Disorder: Silent Impairment of the Cognitive Ear. *Front Neurosci.* 2019;13:619.
41. Baddeley AD. Working memory. *Science.* 1992;255(5044):556–9. DOI: 10.1126/science.1736359
42. Baddeley AD. Is working memory still working? *Eur Psychol.* 2002;7(2):85. DOI: 10.1037/0003-066x.56.11.851
43. Ng EHN, Rudner M, Lunner T, Pedersen MS, Rönnberg J. Effects of noise and working memory capacity on memory processing of speech for hearing-aid users. *Int J Audiol.* 2013 Jul 1;52(7):433–41. DOI: 10.3109/14992027.2013.776181
44. Rönnberg J, Lunner T, Zekveld A, Sörqvist P, Danielsson H, Lyxell B, Dahlström Ö, Signoret C, Stenfelt S, Pichora-Fuller MK, Rudner M. The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. *Front Syst Neurosci.* 2013;7:31. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3710434/>, accessed July 22, 2020.
45. Meister H. Sprachaudiometrie, Sprachwahrnehmung und kognitive Funktionen. *HNO.* 2017 Mar;65(3):189–94. DOI: 10.1007/s00106-016-0229-4
46. Meister H, Schreitmüller S, Grugel L, Landwehr M, von Wedel H, Walger M, Meister I. Untersuchungen zum Sprachverstehen und zu kognitiven Fähigkeiten im Alter. *HNO.* 2011;59(7):689–95.
47. Stenfelt S, Rönnberg J. The Signal-Cognition interface : interactions between degraded auditory signals and cognitive processes. *Scand J Psychol.* 2009;50(5):385–93. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1467-9450.2009.00748.x>, accessed July 21, 2020.

48. Sweller J. Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learn Instr.* 1994;4(4):295–312.
49. Wechsler D. Wechsler Adult Intelligence Scale - Fourth Edition, Manual 1: Grundlagen, Testauswertung und Interpretation, deutsche Adaption: Prof. Dr. Franz Petermann. Frankfurt/Main: © NCS Pearson, Inc.; 2008. Deutsche Übersetzung © 2012 NCS Pearson, Inc.
50. Finkel D, Reynolds CA, McArdle JJ, Pedersen NL. Age changes in processing speed as a leading indicator of cognitive aging. Vol. 22, *Psychology and Aging*. Finkel, Deborah: Indiana University Southeast, 4201 Grant Line Road, New Albany, IN, US, 47150, dfinkel@ius.edu: American Psychological Association; 2007. p. 558–68.
51. Kerchner GA, Racine CA, Hale S, Wilhelm R, Laluz V, Miller BL, Kramer JH. Cognitive Processing Speed in Older Adults: Relationship with White Matter Integrity. *PLoS One*. 2012 Nov 21;7(11):e50425. DOI: 10.1371/journal.pone.0050425
52. Wendt D, Kollmeier B, Brand T. How Hearing Impairment Affects Sentence Comprehension: Using Eye Fixations to Investigate the Duration of Speech Processing. *Trends Hear.* 2015;19:2331216515584149. DOI: 10.1177/2331216515584149
53. Pickora-Fuller MK. Processing speed and timing in aging adults: psychoacoustics, speech perception, and comprehension. *Int J Audiol.* 2003 Jul;42 Suppl 1:S59-67.
54. Yumba WK. Cognitive Processing Speed, Working Memory, and the Intelligibility of Hearing Aid-Processed Speech in Persons with Hearing Impairment. Vol. 8, *Frontiers in Psychology* . 2017. p. 1308. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2017.01308>, accessed July 30, 2020.
55. Schönborn R. WHO-Definition von Demenz. In: *Demenzsensible psychosoziale Intervention: Interviewstudie mit Menschen mit demenziellen Beeinträchtigungen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; 2018. p. 5–6. DOI: 10.1007/978-3-658-20868-4\_2
56. Orgeta V, Mukadam N, Sommerlad A, Livingston G. The Lancet Commission on Dementia Prevention, Intervention, and Care: a call for action. *Ir J Psychol Med.* 2018/04/03. 2019;36(2):85–8. <https://www.cambridge.org/core/journals/irish-journal-of-psychological-medicine/article/lancet-commission-on-dementia-prevention-intervention-and-care-a-call-for-action/3E7ED3B3B08161D9FC2B75FD8268703D>, accessed July 27, 2020.
57. Livingston G, Sommerlad A, Orgeta V, Costafreda SG, Huntley J, Ames D, Ballard C, Banerjee S, Burns A, Cohen-Mansfield J, Cooper C, Fox N, Gitlin LN, Howard R, Kales HC, Larson EB, Ritchie K, Rockwood K, Sampson EL, Samus Q, Schneider LS, Selbaek G, Teri L, Mukadam N. Dementia prevention, intervention, and care. *Lancet.* 2017;390(10113):2673–734.
58. Ford AH, Hankey GJ, Yeap BB, Golledge J, Flicker L, Almeida OP. Hearing loss and the risk of dementia in later life. *Maturitas.* 2018;112:1–11.

59. Uhlmann RF, Larson EB, Rees TS, Koepsell TD, Duckert LG. Relationship of Hearing Impairment to Dementia and Cognitive Dysfunction in Older Adults. *JAMA*. 1989 Apr 7;261(13):1916–9. DOI: 10.1001/jama.1989.03420130084028
60. Lin FR, Metter EJ, O'Brien RJ, Resnick SM, Zonderman AB, Ferrucci L. Hearing Loss and Incident Dementia. *Arch Neurol*. 2011 Feb 1;68(2):214–20. DOI: 10.1001/archneurol.2010.362
61. Zheng Y, Fan S, Liao W, Fang W, Xiao S, Liu J. Hearing impairment and risk of Alzheimer's disease: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Neurol Sci*. 2017;38(2):233–9.
62. Thomson RS, Auduong P, Miller AT, Gurgel RK. Hearing loss as a risk factor for dementia: A systematic review. Vol. 2, *Laryngoscope investigative otolaryngology*. 2017.
63. Loughrey DG, Kelly ME, Kelley GA, Brennan S, Lawlor BA. Association of age-related hearing loss with cognitive function, cognitive impairment, and dementia a systematic review and meta-analysis. Vol. 144, *JAMA Otolaryngology - Head and Neck Surgery*. 2018.
64. Wei J, Hu Y, Zhang L, Hao Q, Yang R, Lu H, Zhang X, Chandrasekar EK. Hearing impairment, mild cognitive impairment, and dementia: a meta-analysis of cohort studies. *Dement Geriatr Cogn Dis Extra*. 2017;7(3):440–52.
65. Sutin AR, Stephan Y, Luchetti M, Terracciano A. Loneliness and Risk of Dementia. *Journals Gerontol Ser B*. 2018 Oct 26; DOI: 10.1093/geronb/gby112
66. Rafnsson SB, Orrell M, d'Orsi E, Hogervorst E, Steptoe A. Loneliness, Social Integration, and Incident Dementia Over 6 Years: Prospective Findings From the English Longitudinal Study of Ageing. *Journals Gerontol Ser B*. 2017 Jun 27;75(1):114–24. DOI: 10.1093/geronb/gbx087
67. Li C-M, Zhang X, Hoffman HJ, Cotch MF, Themann CL, Wilson MR. Hearing Impairment Associated With Depression in US Adults, National Health and Nutrition Examination Survey 2005-2010. *JAMA Otolaryngol Neck Surg*. 2014 Apr 1;140(4):293–302. DOI: 10.1001/jamaoto.2014.42
68. Fulton SE, Lister JJ, Bush ALH, Edwards JD, Andel R. Mechanisms of the Hearing-Cognition Relationship. *Semin Hear*. 2015 Aug;36(3):140–9. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4906307/>, accessed July 27, 2020.
69. Rutherford BR, Brewster K, Golub JS, Kim AH, Roose SP. Sensation and psychiatry: linking age-related hearing loss to late-life depression and cognitive decline. *Am J Psychiatry*. 2018;175(3):215–24.
70. Cacioppo JT, Hawkley LC. Perceived social isolation and cognition. *Trends Cogn Sci*. 2009/08/31. 2009 Oct;13(10):447–54. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2752489/>, accessed July 27, 2020.

71. Reifler B V, Larson E, Hanley R. Coexistence of cognitive impairment and depression in geriatric outpatients. Vol. 139, *The American Journal of Psychiatry*. US: American Psychiatric Assn; 1982. p. 623–6.
72. Fellgiebel A, Hautzinger M. “Pseudodemenz”: Abgrenzung Altersdepression - Demenz. In: *Altersdepression*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2017. p. 51–5.
73. Lenarz T. Cochlear implant - state of the art. *GMS Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg*. 2017;16:Doc04. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5818683/>, accessed July 31, 2020.
74. Zahnert T, Mürbe D. Kochleaimplantatversorgung von Kindern und Erwachsenen - Cochlear Implants in Children and Adults. *Laryngorhinotologie*. 2017;96(06):396–419.
75. Laszig R, Aschendorff A, Schipper J, Klenzner T. Aktuelle Entwicklung zum Cochlearimplantat. *HNO*. 2004;52(4):357–62. DOI: 10.1007/s00106-004-1049-5
76. Tyler RS, Dunn CC, Witt SA, Preece JP. Update on bilateral cochlear implantation. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2003;11(5). Available from: [https://journals.lww.com/co-otolaryngology/Fulltext/2003/10000/Update\\_on\\_bilateral\\_cochlear\\_implantation.14.aspx](https://journals.lww.com/co-otolaryngology/Fulltext/2003/10000/Update_on_bilateral_cochlear_implantation.14.aspx), accessed July 31, 2020.
77. Arndt S, Laszig R, Aschendorff A, Beck R, Schild C, Hassepaß F, Ihorst G, Kroeger S, Kirchem P, Wesarg T. Einseitige Taubheit und Cochlear-implant-Versorgung. *HNO*. 2011;59(5):437. DOI: 10.1007/s00106-011-2318-8
78. Buss E, Dillon MT, Rooth MA, King ER, Deres EJ, Buchman CA, Pillsbury HC, Brown KD. Effects of Cochlear Implantation on Binaural Hearing in Adults With Unilateral Hearing Loss. *Trends Hear*. 2018 Jan 1;22:2331216518771173. DOI: 10.1177/2331216518771173
79. Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde KH. Weißbuch Cochlea-Implantat (CI)-Versorgung. Bonn; 2018. <https://cdn.hno.org/media/PDF/ci-weissbuch-und-register-dghno-1-auflage-stand-04-2018.pdf>, accessed July 15, 2020, 7:20 pm.
80. Orabi AA, Mawman D, Al-Zoubi F, Saeed SR, Ramsden RT. Cochlear implant outcomes and quality of life in the elderly: Manchester experience over 13 years<sup>1</sup>. *Clin Otolaryngol*. 2006 Apr 1;31(2):116–22. DOI: 10.1111/j.1749-4486.2006.01156.x
81. Di Nardo W, Anzivino R, Giannantonio S, Schinaia L, Paludetti G. The effects of cochlear implantation on quality of life in the elderly. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*. 2014;271(1):65–73. DOI: 10.1007/s00405-013-2396-1
82. Mosnier I, Bebear J-P, Marx M, Fraysse B, Truy E, Lina-Granade G, Mondain M, Sterkers-Artières F, Bordure P, Robier A, Godey B, Meyer B, Frachet B, Poncet-Wallet C, Bouccara D, Sterkers O. Improvement of Cognitive Function After Cochlear Implantation in Elderly Patients. *JAMA Otolaryngol Neck Surg*. 2015 May 1;141(5):442–50. DOI: 10.1001/jamaoto.2015.129

83. Jayakody DMP, Friedland PL, Nel E, Martins RN, Atlas MD, Sohrabi HR. Impact of cochlear implantation on cognitive functions of older adults: pilot test results. *Otol Neurotol*. 2017;38(8):e289–95. DOI: 10.1097/MAO.0000000000001502
84. Alice B, Silvia M, Laura G, Patrizia T, Roberto B. Cochlear implantation in the elderly: surgical and hearing outcomes. *BMC Surg*. 2013;13(2):S1. DOI: 10.1186/1471-2482-13-S2-S1
85. Mosnier I, Bebear J-P, Marx M, Fraysse B, Truy E, Lina-Granade G, Mondain M, Sterkers-Artières F, Bordure P, Robier A, Godey B, Meyer B, Frachet B, Poncet C, Bouccara D, Sterkers O. Predictive Factors of Cochlear Implant Outcomes in the Elderly. *Audiol Neurotol*. 2014;19:15–20. DOI: 10.1159/000371599
86. Adunka OF, Buss E, Clark MS, Pillsbury HC, Buchman CA. Effect of Preoperative Residual Hearing on Speech Perception After Cochlear Implantation. *Laryngoscope*. 2008 Nov 1;118(11):2044–9. DOI: 10.1097/MLG.0b013e3181820900
87. Leung J, Wang N-Y, Yeagle JD, Chinnici J, Bowditch S, Francis HW, Niparko JK. Predictive models for cochlear implantation in elderly candidates. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2005 Dec;131(12):1049–54.
88. Hallberg LR-M, Ringdahl A, Holmes A, Carver C. Psychological general well-being (quality of life) in patients with cochlear implants: Importance of social environment and age. *Int J Audiol*. 2005 Jan 1;44(12):706–11. DOI: 10.1080/14992020500266852
89. Pichora-Fuller MK, Levitt H. Speech comprehension training and auditory and cognitive processing in older adults. *Am J Audiol*. 2012 Dec;21(2):351–7.
90. Chatelin V, Kim EJ, Driscoll C, Larky J, Polite C, Price L, Lalwani AK. Cochlear Implant Outcomes in the Elderly. *Otol Neurotol*. 2004;25(3). DOI: 10.1097/00129492-200405000-00017
91. Waltzman SB, Cohen NL, Shapiro WH. The Benefits of Cochlear Implantation in the Geriatric Population. *Otolaryngol Neck Surg*. 1993 Apr 1;108(4):329–33. DOI: 10.1177/019459989310800404
92. Friedland DR, Runge-Samuels C, Baig H, Jensen J. Case-Control Analysis of Cochlear Implant Performance in Elderly Patients. *Arch Otolaryngol Neck Surg*. 2010 May 17;136(5):432–8. DOI: 10.1001/archoto.2010.57
93. Dillon MT, Buss E, Adunka MC, King ER, Pillsbury III HC, Adunka OF, Buchman CA. Long-term Speech Perception in Elderly Cochlear Implant Users. *JAMA Otolaryngol Neck Surg*. 2013 Mar 1;139(3):279–83. DOI: 10.1001/jamaoto.2013.1814
94. Lin FR, Chien WW, Li L, Clarrett DM, Niparko JK, Francis HW. Cochlear implantation in older adults. *Medicine (Baltimore)*. 2012 Sep;91(5):229–41. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3518393/>, accessed July 28, 2020.

95. Büchschütz K, Arnolds J, Bagus H, Fahimi F, Günnicker M, Lang S, Arweiler-Harbeck D. Operatives Risikoprofil und Hör-Spracherfolg bei älteren Cochlea-Implantat-Patienten - Surgical Risk Profile and Audiological Outcome in the Elderly after Cochlea-implantation. *Laryngorhinootologie*. 01.12.2014. 2015;94(10):670–5.
96. Kelsall DC, Shallop JK, Burnelli T. Cochlear implantation in the elderly. *Am J Otol*. 1995 Sep;16(5):609—615. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8588665/>, accessed July 27, 2020.
97. Hofkens-Van den Brandt A, Mertens G, Gilles A, Fransen E, Lassaletta L, Gavilan J, Calvino M, Yanov Y, Kuzovkov V, Kliachko D, Zernotti M, Di Gregorio DMF, van Rompaey V, van de Heyning P, Sugarova S. Auditory Performances in Older and Younger Adult Cochlear Implant Recipients: Use of the HEARRING Registry. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc [and] Eur Acad Otol Neurotol*. 2019 Sep;40(8):e787–95.
98. Haensel J, Ilgner J, Chen Y-S, Thuermer C, Westhofen M. Speech perception in elderly patients following cochlear implantation. *Acta Otolaryngol*. 2005 Dec;125(12):1272–6.
99. Castiglione A, Benatti A, Velardita C, Favaro D, Padoan E, Severi D, Pagliaro M, Bovo R, Vallesi A, Gabelli C, Martini A. Aging, Cognitive Decline and Hearing Loss: Effects of Auditory Rehabilitation and Training with Hearing Aids and Cochlear Implants on Cognitive Function and Depression among Older Adults. *Audiol Neurotol*. 2016;21(suppl 1(Suppl. 1):21–8. DOI: 10.1159/000448350
100. Fortunato S, Forli F, Guglielmi V, De Corso E, Paludetti G, Berrettini S, Fetoni AR. A review of new insights on the association between hearing loss and cognitive decline in ageing. *Acta Otorhinolaryngol Ital*. 2016;36(3):155. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4977003/>, accessed July 27, 2020.
101. Maharani A, Dawes P, Nazroo J, Tampubolon G, Pendleton N, Bertelsen G, SENSE-Cog WP1 group. Longitudinal Relationship Between Hearing Aid Use and Cognitive Function in Older Americans. *J Am Geriatr Soc*. 2018;66(6).
102. Völter C, Götze L, Dazert S, Falkenstein M, Thomas JP. Can cochlear implantation improve neurocognition in the aging population? *Clin Interv Aging*. 2018;13:701.
103. Knopke S, Olze H. Hörrehabilitation mithilfe von Cochlea-Implantaten und kognitive Fähigkeiten. *HNO*. 2018;66(5):364–8. DOI: 10.1007/s00106-017-0423-z
104. Sarant J, Harris D, Busby P, Maruff P, Schembri A, Dowell R, Briggs R. The Effect of Cochlear Implants on Cognitive Function in Older Adults: Initial Baseline and 18-Month Follow Up Results for a Prospective International Longitudinal Study. *Front Neurosci*. 2019;13:789. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnins.2019.00789>, accessed July 26, 2020.

105. Sarant J, Harris D, Busby P, Maruff P, Schembri A, Lemke U, Launer S. The Effect of Hearing Aid Use on Cognition in Older Adults: Can We Delay Decline or Even Improve Cognitive Function? *J Clin Med*. 2020 Jan 17 [cited 2020 May 6];9(1):254. <https://www.mdpi.com/2077-0383/9/1/254>, accessed July 27, 2020.
106. Ray M, Denning T, Crosbie B. Dementia and hearing loss: A narrative review. *Maturitas* [Internet]. 2019;128:64–9. DOI: 10.1016/j.maturitas.2019.08.001
107. Mamo SK, Reed NS, Price C, Occhipinti D, Pletnikova A, Lin FR, Oh ES. Hearing loss treatment in older adults with cognitive impairment: A systematic review. Vol. 61, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2018. DOI: 10.1044/2018\_JSLHR-H-18-0077
108. Cosetti MK, Pinkston JB, Flores JM, Friedmann DR, Jones CB, Roland Jr JT, Waltzman SB. Neurocognitive testing and cochlear implantation: insights into performance in older adults. *Clin Interv Aging*. 2016 May 12;11:603–13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4869653/>, accessed July 27, 2020.
109. Dawes P. Hearing interventions to prevent dementia. *HNO*. 2019;67(3):165–71. DOI: 10.1007/s00106-019-0617-7
110. Deal JA, Goman AM, Albert MS, Arnold ML, Burgard S, Chisolm T, Couper D, Glynn NW, Gmelin T, Hayden KM, Mosley T, Pankow JS, Reed N, Sanchez VA, Sharrett AR, Thomas SD, Coresh J, Lin FR. Hearing treatment for reducing cognitive decline: Design and methods of the Aging and Cognitive Health Evaluation in Elders randomized controlled trial. *Alzheimer's Dement (New York, N Y)*. 2018;4:499–507.
111. Poissant SF, Beaudoin F, Huang J, Brodsky J, Lee DJ. Impact of cochlear implantation on speech understanding, depression, and loneliness in the elderly. *J Otolaryngol - head neck Surg = Le J d'oto-rhino-laryngologie Chir cervico-faciale*. 2008 Aug;37(4):488–94.
112. Knopke S, Gräbel S, Förster-Ruhrmann U, Mazurek B, Szczepek AJ, Olze H. Impact of cochlear implantation on quality of life and mental comorbidity in patients aged 80 years. *Laryngoscope*. 2016 Dec 1;126(12):2811–6. DOI: 10.1002/lary.25993
113. Olze H, Gräbel S, Förster U, Zirke N, Huhnd LE, Haupt H, Mazurek B. Elderly patients benefit from cochlear implantation regarding auditory rehabilitation, quality of life, tinnitus, and stress. *Laryngoscope*. 2012 Jan 1;122(1):196–203. DOI: 10.1002/lary.22356
114. Olze H, Knopke S, Gräbel S, Szczepek AJ. Rapid Positive Influence of Cochlear Implantation on the Quality of Life in Adults 70 Years and Older. *Audiol Neurotol*. 2016;21:43–7. DOI: 10.1159/000448354
115. Hirschfelder A, Gräbel S, Olze H. The impact of cochlear implantation on quality of life: The role of audiologic performance and variables. *Otolaryngol Neck Surg*. 2008 Mar 1;138(3):357–62. DOI: 10.1016/j.otohns.2007.10.019

116. Mrowinski D, Scholz G, Steffens T, editors. Audiometrie Eine Anleitung für die praktische Hörprüfung. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2017. 62–74 p.
117. Hahlbrock KH. Über Sprachaudiometrie und neue Wörkerteste. Arch für Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkd. 1953;162(5):394–431. DOI: 10.1007/BF02105664
118. Hoth S. Der Freiburger Sprachtest . HNO. 2016;64(8):540–8. DOI: 10.1007/s00106-016-0150-x
119. Wagener K, Brand T, Kollmeier B. Development and evaluation of a German sentence test part III: Evaluation of the Oldenburg sentence test. Zeitschrift Fur Audiol. 1999;38:86–95.
120. Müller-Deile J. Sprachverständlichkeitsuntersuchungen bei Kochleaimplantatpatienten. HNO. 2009;57(6):580–92. DOI: 10.1007/s00106-009-1930-3
121. HörTech gmbH. Oldenburger Satztest - Adaptive Sprachaudiometrie mit Sätzen in Ruhe und im Störgeräusch - Bedienungsanleitung. Oldenburg; 2011. [https://www.hoertech.de/images/hoertech/pdf/mp/produkte/olsa/HT.OLSA\\_Handbuch\\_Rev01.0\\_mitUmschlag.pdf](https://www.hoertech.de/images/hoertech/pdf/mp/produkte/olsa/HT.OLSA_Handbuch_Rev01.0_mitUmschlag.pdf), accessed May 19, 2020, 9:31 pm.
122. Wechsler D. Wechsler Adult Intelligence Scale Manual. New York: Psychological Corporation; 1955.
123. Vitkus L, Marrone N, Glisky E. Elder Care – A Resource for Interprofessional Providers: Hearing Loss and Cognitive Assessment. Portal of Online Geriatrics. 2018. <https://pogoe.org/sites/default/files/Hearing Loss and Cognitive Assessment.pdf>, accessed May 19, 2020.
124. Schroth J. WAIS-IV. Wechsler Adult Intelligence Scale. PSYNDEX Tests Review. 2013. <https://www.zpid.de/retrieval/PSYNDEXTests.php?id=9006581>, accessed May 19, 2020.
125. Wechsler D. Wechsler Adult Intelligence Scale - Fourth Edition, Manual zur Durchführung, deutsche Adaption: Prof. Dr. Franz Petermann. Frankfurt/Main: © NCS Pearson, Inc.; 2008. Deutsche Übersetzung © 2012 NCS Pearson, Inc.
126. Wechsler D. Wechsler Adult Intelligence Scale - Fourth Edition, deutsche Adaption: Prof. Dr. Franz Petermann. Frankfurt/Main: © NCS Pearson, Inc.; 2008. Deutsche Übersetzung © 2012 NCS Pearson, Inc.
127. Holube I, Kollmeier B. Ein Fragebogen zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens: Erstellung der Fragen und Beziehung zum Tonschwellenaudiogramm. Audiol Akust. 1991;30:48–64.
128. Holube I, Kollmeier B. Modifikation eines Fragebogens zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens und dessen Beziehung zur Sprachverständlichkeit in Ruhe und unter Störgeräuschen. 1994;
129. HörTech gmbH. Manual zum Fragebogen Oldenburger Inventar-R. Oldenburg; 2006.

130. Hinderink JB, Krabbe PFM, Van Den Broek P. Development and application of a health-related quality-of-life instrument for adults with cochlear implants: The Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire. *Otolaryngol Neck Surg.* 2000 Dec 1;123(6):756–65. DOI: 10.1067/mhn.2000.108203
131. Hautzinger M, Bailer M, Hofmeister D, Keller F. Allgemeine Depressionsskala (ADS). 2. überarbeitete Auflage. Göttingen: Hogrefe; 2012.
132. Stein J, Lupp M. Allgemeine Depressionsskala (ADS). *Psychiatr Prax.* 2012 Aug 13;39(06):302–4. DOI: 10.1055-s-0032-1326702
133. Sonnet MH, Montaut-Verient B, Niemier JY, Hoen M, Ribeyre L, Parietti-Winkler C. Cognitive Abilities and Quality of Life After Cochlear Implantation in the Elderly. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc [and] Eur Acad Otol Neurotol.* 2017 Sep;38(8):e296–301.
134. Anzivino R, Conti G, Di Nardo W, Fetoni AR, Picciotti PM, Marra C, Guglielmi V, Fortunato S, Forli F, Paludetti G, Berrettini S. Prospective Evaluation of Cognitive Functions After Rehabilitation With Cochlear Implant or Hearing Aids: Preliminary Results of a Multicentric Study on Elderly Patients. *Am J Audiol.* 2019 Oct 16;28(3S):762–74. DOI: 10.1044/2019\_AJA-HEAL18-18-0176
135. Herzog M, Schön F, Müller J, Knaus C, Scholtz L, Helms J. Long term results after cochlear implantation in elderly patients. *Laryngorhinootologie.* 2003;82(7):490—493. DOI: 10.1055/s-2003-40896
136. Kupferberg A, Koj A, Radeloff A. Auditorisches Training verbessert Sprachverstehen und kognitive Leistung. *HNO Nachrichten.* 2019;49(2):32–7. DOI: 10.1007/s00060-019-5863-5
137. Schumann A, Hast A, Hoppe U. Speech performance and training effects in the cochlear implant elderly. *Audiol Neurotol.* 2014;19 Suppl 1:45–8.
138. Weißgerber T, Müller C, Stöver T, Baumann U. Sprachverstehen und kognitive Leistungen bei Senioren ohne subjektive Hörminderung - Speech perception and cognitive abilities in seniors without subjective hearing loss. *Laryngorhinootologie.* 09.04.2019. 2019;98(07):489–96.
139. Huhnd LE. Einfluss der Cochlea Implantat Versorgung auf Lebensqualität, Sprachverstehen, Tinnitus und psychische Komorbiditäten unter besonderer Berücksichtigung älterer Patienten. 2011. Ph.D. thesis, Charité – Universitätsmedizin Berlin
140. Sukowski H, Thiele C, Wagener K, Lesinski-Schiedat A, Kollmeier B. Untersuchung des Hörvermögens bei einer angezeigten beruflichen Lärmschwerhörigkeit: Der Einsatz von Fragebögen als Ergänzung zu ton-und sprachaudiometrischen Messungen. 2012. [http://pub.degaakustik.de/DAGA\\_2012/data/articles/000338.pdf](http://pub.degaakustik.de/DAGA_2012/data/articles/000338.pdf), accessed August 1, 2020.

141. Ketterer MC, Häussler SM, Hildenbrand T, Speck I, Peus D, Rosner B, Knopke S, Graebel S, Olze H. Binaural Hearing Rehabilitation Improves Speech Perception, Quality of Life, Tinnitus Distress, and Psychological Comorbidities. *Otol Neurotol.* 2020;41(5). [https://journals.lww.com/otology-neurotology/Fulltext/2020/05000/Binaural\\_Hearing\\_Rehabilitation\\_Improves\\_Speech.18.aspx](https://journals.lww.com/otology-neurotology/Fulltext/2020/05000/Binaural_Hearing_Rehabilitation_Improves_Speech.18.aspx), accessed October 6, 2020.
142. Häußler SM, Knopke S, Gräbel S, Olze H. Vergleichsanalyse zur Tinnitusbelastung, Lebensqualität und Hörverbesserung bei CI-Patienten mit einseitiger Ertaubung, asymmetrischem Hörverlust und beidseitiger Ertaubung. *Laryngorhinootologie.* 2019;98(S 02):11073.
143. Francis HW, Chee N, Yeagle J, Cheng A, Niparko JK. Impact of cochlear implants on the functional health status of older adults. *Laryngoscope.* 2002;112(8):1482–8.
144. Knopke S, Häussler S, Gräbel S, Wetterauer D, Ketterer M, Flugler A, Szczepek AJ, Olze H. Age-Dependent Psychological Factors Influencing the Outcome of Cochlear Implantation in Elderly Patients. *Otol Neurotol.* 2019;40(4). DOI: 10.1097/MAO.0000000000002179
145. Cullum CM, Larrabee GJ. WAIS-IV use in neuropsychological assessment. In: *WAIS-IV clinical use and interpretation.* Elsevier; 2010. p. 167–87.
146. van Aken L, van der Heijden PT, van der Veld WM, Hermans L, Kessels RPC, Egger JIM. Representation of the Cattell–Horn–Carroll Theory of Cognitive Abilities in the Factor Structure of the Dutch-Language Version of the WAIS-IV. *Assessment.* 2015 Sep 30;24(4):458–66. DOI: 10.1177/1073191115607973
147. Salthouse TA, Saklofske DH. CHAPTER 8 - Do the WAIS-IV Tests Measure the Same Aspects of Cognitive Functioning in Adults Under and Over 65? In: Weiss LG, Saklofske DH, Coalson DL, Raiford SEBT-W-ICU and I, editors. *Practical Resources for the Mental Health Professional.* San Diego: Academic Press; 2010. p. 217–35. DOI: 10.1016/B978-0-12-375035-8.10008-4
148. Ovsiew GP, Resch ZJ, Nayar K, Williams CP, Soble JR. Not so fast! Limitations of processing speed and working memory indices as embedded performance validity tests in a mixed neuropsychiatric sample. *J Clin Exp Neuropsychol.* 2020 May 27;42(5):473–84. DOI: 10.1080/13803395.2020.1758635
149. Erdodi LA, Abeare CA, Lichtenstein JD, Tyson BT, Kucharski B, Zuccato BG, Roth RM. Wechsler Adult Intelligence Scale-(WAIS-IV) processing speed scores as measures of noncredible responding: The third generation of embedded performance validity indicators. *Psychol Assess.* 2017;29(2):148. DOI: 10.1037/pas0000319
150. Claes AJ, Van de Heyning P, Gilles A, Van Rompaey V, Mertens G. Cognitive performance of severely hearing-impaired older adults before and after cochlear implantation: preliminary results of a prospective, longitudinal cohort study using the RBANS-H. *Otol Neurotol.* 2018;39(9):e765–73.

151. Tremblay C, Champoux F, Lepore F, Théoret H. Audiovisual fusion and cochlear implant proficiency. *Restor Neurol Neurosci*. 2010;28:283–91.
152. Lövdén M, Ghisletta P, Lindenberger U. Social participation attenuates decline in perceptual speed in old and very old age. *Psychol Aging*. 2005 Sep;20(3):423–34.
153. Köpke VA. Einfluss der Cochlea Implantat Versorgung auf Sprachverstehen, Tinnitus, Lebensqualität und psychische Komorbiditäten bei Patienten mit Single-Sided Deafness. 2019. Ph.D. thesis, Charité – Universitätsmedizin Berlin

## **Eidesstattliche Versicherung**

„Ich, Arvid Leander Schubert, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

### **Evaluation des Versorgungserfolges älterer Patienten nach unilateraler Cochlea-Implantat-Operation unter besonderer Berücksichtigung der kognitiven Funktion**

Outcome evaluation of unilateral Cochlear Implantation in the elderly particularly focusing on the cognitive function

selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

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

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

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

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

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

Datum

Unterschrift

## Anteilerklärung

Herr Arvid Leander Schubert hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

1. Knopke S, Schubert A, Häußler S, Szczepek A, Gräbel S, Olze H. Influence of Cochlear Implantation on cognitive abilities in post-lingual hearing-impaired people aged 70 years or older. *Laryngorhinootologie*. 2018;97(S 02):10482.

*Beitrag im Einzelnen:* anteilige Generierung der zugrunde liegenden Daten (Rekrutierung der Patientenkohorte; Erhebung und Verarbeitung der Rohdaten der Kognitionsindices im Rahmen der Wechsler Intelligence Scale for Adults, 4. Ed.; Zusammenstellung der sprachaudiometrischen Daten)

2. Knopke S, Schubert A, Gräbel S, Häußler S, Olze H. Significant improvement of working memory by cochlear implantation in post-lingual hearing-impaired individuals aged 70 years and older at a 2-year follow-up. *Laryngorhinootologie*. 2019;98(S 02):11089.

*Beitrag im Einzelnen:* anteilige Generierung der zugrunde liegenden Daten (Rekrutierung der Patientenkohorte; Erhebung und Verarbeitung der Rohdaten der Kognitionsindices im Rahmen der Wechsler Intelligence Scale for Adults, 4. Ed.; Zusammenstellung der sprachaudiometrischen Daten)

3. Knopke S, Schubert A, Häussler S, Gräbel S, Olze H. Relationship between cognition and psychometric outcome after cochlear implantation of over 70-year-old, post-lingual hearing impaired persons. *Laryngorhinootologie*. 2020;99(S 02).

*Beitrag im Einzelnen:* anteilige Generierung der zugrunde liegenden Daten (Rekrutierung der Patientenkohorte; Erhebung und Verarbeitung der Rohdaten der Kognitionsindices im Rahmen der Wechsler Intelligence Scale for Adults, 4. Ed.; Zusammenstellung der sprachaudiometrischen Daten; Erhebung und Verarbeitung von Fragebogendaten)

Unterschrift des Doktoranden

## **Lebenslauf**

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

## Publikationsliste

1. Knopke S, Schubert A, Häußler S, Szczepek A, Gräbel S, Olze H. Influence of Cochlear Implantation on cognitive abilities in post-lingual hearing impaired people aged 70 years or older. *Laryngorhinootologie*. 2018;97(S 02):10482.
2. Knopke S, Schubert A, Gräbel S, Häußler S, Olze H. Significant improvement of working memory by cochlear implantation in post-lingual hearing-impaired individuals aged 70 years and older at a 2-year follow-up. *Laryngorhinootologie*. 2019;98(S 02):11089.
3. Knopke S, Schubert A, Häussler S, Gräbel S, Olze H. Relationship between cognition and psychometric outcome after cochlear implantation of over 70-year-old, post-lingual hearing impaired persons. *Laryngorhinootologie*. 2020;99(S 02).

## **Danksagung**

Mein herzlicher Dank gilt Frau Prof. Dr. med. Heidi Olze für die Realisierung der Thematik und für die Möglichkeit, mich durch die eigene Arbeit ein Stück an der Forschung auf diesem Gebiet teilhaben zu lassen. Auch für die konstruktive Korrektur der Arbeit möchte ich ihr sehr danken.

Mein großer Dank gilt Herrn Dr. med. Steffen Knopke, der mich jederzeit ansprechbar und geduldig mit der Thematik, Methodik und Forschung vertraut gemacht hat. Neben der Unterstützung bei der Datenerhebung und -auswertung, haben seine konstruktiven Beiträge und Zusprüche maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

In diesem Rahmen möchte ich, neben dem gesamten audiologischen Team, besonders Herrn Dr. rer. medic. Stefan Gräbel und Herrn Martin Bischoff für die technische Unterstützung und Beratung bei der Datenerhebung danken.

Darüber hinaus ergeht mein Dank natürlich an alle Patienten, die der Studienteilnahme ausdauernd zugestimmt haben und an die Rehabilitationseinrichtungen für die Kooperation bei der Datenerhebung und Weiterbetreuung der Patienten. Auch der Pearson Deutschland GmbH möchte ich für die freundliche Überlassung des WAIS-IV-Bildmaterials und die Zustimmung zur Verwendung danken.

Zuletzt möchte ich auch meiner Familie und meiner Freundin für die unterstützenden Worte, das Interesse an der Arbeit und die Ausdauer danken, welche während der Anfertigung der Arbeit sehr hilfreich und ermutigend gewesen sind.