

Vivantes Klinikum Friedrichshain, Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und  
Halschirurgie/Hörzentrum Berlin – Lehrkrankenhaus  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Validierung eines neuen Sprachtests im Rauschen –  
Der synthetische Digits-in-Noise-Test und die Anwendbarkeit bei  
Personen mit einer Cochlea-Implantat-Versorgung**

**Validation of a new Speech in Noise Test –  
The synthetic Digits-in-Noise-Test and the Applicability in  
Persons with a Cochlear Implant**

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor rerum medicinalium (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Miriam Hannah Kropp

aus Oldenburg (Oldb)

Datum der Promotion: 3. Dezember 2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>iv</b>
<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse</b>	<b>v</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>1. Einführung in das Thema</b>	<b>1</b>
1.1. Funktionsweise eines Cochlea-Implantats und Versorgungsprozess . . . . .	2
1.2. Überprüfung des Sprachverstehens im Rahmen der Rehabilitation . . . . .	3
1.3. Fragestellung der Arbeit . . . . .	5
<b>2. Material und Methode</b>	<b>7</b>
2.1. Studienteilnehmende . . . . .	7
2.2. DiN-Testplattform . . . . .	8
2.3. Testkonditionen . . . . .	9
2.4. Statistische Analyse . . . . .	10
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>11</b>
3.1. Adaptive Messungen . . . . .	14
3.2. Messungen mit festen SNR . . . . .	20
<b>4. Diskussion</b>	<b>22</b>
4.1. Messungen mit adaptivem und fixen SNR . . . . .	23
4.2. Klinische und außerklinische Anwendung . . . . .	24
4.3. Methodische Aspekte . . . . .	26
<b>5. Schlussfolgerung und Ausblick</b>	<b>28</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>30</b>

<b>A. Eidesstattliche Versicherung</b>	<b>35</b>
<b>B. Anteilserklärung</b>	<b>36</b>
<b>C. Auszug der Journal Summary List</b>	<b>37</b>
<b>D. Publikation: Evaluation of a synthetic version of the digits-in-noise test and its characteristics in CI recipients</b>	<b>39</b>
<b>E. Lebenslauf</b>	<b>47</b>
<b>F. Publikationsverzeichnis</b>	<b>48</b>
<b>Danksagung</b>	<b>51</b>

# Abkürzungsverzeichnis

<b>CI</b>	. . . . . Cochlea Implantat
<b>dB</b>	. . . . . Dezibel
<b>DF</b>	. . . . . Diskriminationsfunktion
<b>DiN</b>	. . . . . Digits-in-Noise
<b>HVZ</b>	. . . . . Hörverlust für Zahlen
<b>ICRA</b>	. . . . . International Collegium of Rehabilitative Audiology
<b>ISO</b>	. . . . . International Organisation for Standardisation
<b>NH</b>	. . . . . Personen mit Normakusis
<b>SNR</b>	. . . . . Signal-Rausch-Abstand [ $\text{dB}_{\text{SNR}}$ ], engl. <i>Signal-to-Noise-Ratio</i>
<b>SPL</b>	. . . . . Sound Pressure Level [dB]
<b>SRT</b>	. . . . . Sprachverständlichkeitsschwelle, engl. <i>Speech Reception Threshold</i>
<b>WRS</b>	. . . . . Einsilber-Sprechverstehen [%], engl. <i>Word Recognition Score</i>

# Abbildungsverzeichnis

3.1. Perzeptive Wahrnehmung der Testitems . . . . .	12
3.2. Konfusionsmatrix der Personen mit einer CI-Versorgung . . . . .	13
3.3. Sprachverständlichkeitsschwelle (Test-Retest) . . . . .	15
3.4. DiN-Test vs. Sprachverstehen in Ruhe . . . . .	15
3.5. Test-Retest-Verlauf der Personen mit einer CI-Versorgung . . . . .	17
3.6. Resultierender SNR bei variabler Anzahl der Triplets . . . . .	19
3.7. Diskriminationsfunktionen und deren Steigung . . . . .	20

# Tabellenverzeichnis

3.1. Sprachverständlichkeitsschwelle (Test-Retest) . . . . .	16
--	----

# Zusammenfassung

In dieser Studie wird eine neue Version des deutschsprachigen Digits-in-Noise-Tests mit synthetisch generiertem Sprachmaterial vorgestellt. Der Test wurde an Personen mit Normakusis ( $n = 20$ ) evaluiert. Neben der Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität und der Sprachverständlichkeitsschwelle im adaptiven Testsetup wurde die individuelle Diskriminationsfunktion anhand von Messungen mit fixem Signal-Rausch-Abstand ermittelt. Zudem wurden die Testcharakteristika an Personen mit einer Cochlea-Implantat-Versorgung erhoben ( $n = 21$ , versorgt mit einem Nucleus®-System) und der Test auf seine Durchführbarkeit bei Personen mit einem eher schlechten Einsilbersprachverstehen in Ruhe überprüft.

Alle Teilnehmenden konnten unabhängig ihres Einsilbersprachverstehens in Ruhe den Digits-in-Noise-Test durchführen und ein aussagekräftiges Ergebnis erzielen. Die mittlere Sprachverständlichkeitsschwelle lag für die Personen mit Normakusis bei  $-8,1 \text{ dB}_{\text{SNR}}$  mit einer mittleren Steigung von  $23 \text{ \%/dB}$ . Der Median der absoluten Test-Retest-Differenz lag bei  $0,4 \text{ dB}$  (Spannweite: 0 bis  $1,5 \text{ dB}$ ). In der Gruppe der Personen mit einer Cochlea-Implantat-Versorgung reichten die SRT von  $-6,6$  bis  $+12,4 \text{ dB}_{\text{SNR}}$ . Der Median lag für diese Gruppe ebenfalls bei  $0,4 \text{ dB}$  (Spannweite: 0 bis  $6,1 \text{ dB}$ ).

Der Digits-in-Noise-Test stellt eine wertvolle Ergänzung der bisherigen Testbatterie für die Erhebung der Sprachverständlichkeit in Störlärm dar. Dies gilt besonders für Personen mit einer Cochlea-Implantat-Versorgung. Mit einer Gesamtmessdauer von etwa 10 Minuten (Instruktion sowie Test-Retest-Messung) gilt der Test als klinisch anwendbar. Er ermöglicht zeit- und kostensparende Überprüfung des individuellen Hörvermögens. Durch die Anwendbarkeit mittels App und der direkten Einspeisung in das Cochlea-Implantat kann der Test auch außerhalb klinischer Einrichtungen angewendet werden.

# Abstract

In this study a new German version of the Digits-in-Noise test with synthetically generated language material is presented. The test was evaluated on people with normal hearing ( $n = 20$ ). In addition to determining the test-retest reliability and the speech intelligibility threshold in an adaptive test setup, the discrimination function was measured at a fixed signal-to-noise ratio. Furthermore, the test characteristics were obtained for people using a cochlear implant ( $n = 21$ , supplied with a Nucleus® system) and the applicability of the test in people with a rather poor speech reception in quiet was determined.

All participants were able to perform the Digits-in-Noise test, regardless of their speech reception in quiet. The mean speech reception threshold for people with normal hearing was  $-8.1 \text{ dB}_{\text{SNR}}$  with a mean slope of  $23 \text{ \%/dB}$ . The median of the absolute test-retest difference was  $0.4 \text{ dB}$  (range:  $0$  to  $1.5 \text{ dB}$ ). Among the group of people with a cochlear implant, the SRT ranged from  $-6.6$  to  $+12.4 \text{ dB}_{\text{SNR}}$  with a median of  $0.4 \text{ dB}$  (range:  $0$  to  $6.1 \text{ dB}$ ).

The Digits-in-Noise test is deemed a valuable addition to the existing test battery for the measurements of speech reception in noise, especially for people using a cochlear implant. With a total measurement time of about 10 minutes (including instructions and test-retest measurement) the test is considered clinically applicable. It enables a time and cost-saving examination of the individual hearing ability. Additionally, using the test via an app and feeding the signal directly into the cochlear implant, the procedure can be carried out independently of a clinical setting.

## KAPITEL 1

# Einführung in das Thema

Das Fach- und Wissenschaftsgebiet der Audiologie ist ein interdisziplinäres Arbeits- und Forschungsfeld. Im Mittelpunkt stehen die Erfassung und Beurteilung der Aufnahme und Weiterverarbeitung von Schall durch das menschliche Gehör unter Berücksichtigung medizinischer, physiologischer und psychoakustischer Gesichtspunkte. Bei Vorliegen einer Hörminderung folgt daraus die Festlegung möglicher Ursachen und gegebenenfalls die Initiierung einer Therapie. Besonders bei der apparativen Versorgung von Hörstörungen (mittels konventioneller Hörgeräte- oder operativer Hörimplantatversorgung) ist die Vernetzung medizinischen, technischen und pädagogischen Fachpersonals notwendig (Beutner et al. 2018; DGA e.V. 2015; DGHNO KHC e.V. 2020; Keller 1999; Stöver et al. 2020).

Ist eine auf dem Stand der Technik befindliche, konventionelle Hörgeräteversorgung nicht mehr für ein adäquates Hör- und Sprachverstehen ausreichend, ist nach heutiger Auffassung die Versorgung mit einem **Cochlea Implantat (CI)** indiziert (Beutner et al. 2018; DGHNO KHC e.V. 2020). Die Voraussetzung hierfür ist ein funktionstüchtiger Hörnerv sowie der Ausschluss einer relevanten retrocochleären Hörstörung (Müller und Oberhoffner 2016). Die CI-Versorgung kann dabei in Abhängigkeit vom individuellen Hörverlust sowohl unilateral als auch bilateral (simultan oder sequenziell) erfolgen. Personen mit einer postlingualen, hochgradigen Innenohrschwerhörigkeit können mit einem solchen Implantat ihr Hör- und Sprachverstehens wiedererlernen. Für Kinder mit einer prälingualen hochgradigen Schallempfindungsschwerhörigkeit ermöglicht grundsätzlich erst die Versorgung mit einem CI die Ausbildung eines Hör- und Sprachverstehens und somit die Möglichkeit der lautsprachlichen Kommunikation (DGHNO KHC e.V. 2018a).

Ende der 1950er Jahre fanden die ersten Implantationen mit dem Ziel der elektrischen Stimulation des Hörnerven statt. Mittels eines einkanaligen Elektroenträgers, welcher extracochleär positioniert wurde, konnte ertaubten Personen akustische Wahrnehmung ermöglicht werden (Battmer 2009). Etwa zwanzig Jahre später erfolgten die ersten Implantationen mit einem intracochleären, mehrkanaligen Elektroenträger (Clark et al. 1977). Heute – etwa weitere 40 Jahre später – gilt die Cochlea-Implantation als eine etablierte Versorgungsform (Battmer 2009; DGHNO KHC e.V. 2018a; Lenarz 2018). Über 4000 Implantate werden jedes

Jahr allein in Deutschland eingesetzt (DGHNO KHC e.V. 2018b) – mit jährlich steigender Tendenz (Hoppe et al. 2019). Zur Erfassung der genauen Implantationszahl sowie des Erfolgs der Versorgung ist aktuell ein deutschlandweites „CI-Register“ in Planung (DGHNO KHC e.V. 2018a). Mit der stetigen Weiterentwicklung der Implantate und Audiosprachprozessoren (Clark 2015; Hochmair et al. 2006; von Ihlberg et al. 2011) haben sich sowohl die Operationstechnik, als auch die Diagnostik und die technischen Möglichkeiten einer CI-Versorgung maßgeblich verbessert, sei es in Bezug auf den erwartbaren Zugewinn des Sprachverstehens oder die Ankopplungsmöglichkeiten des Implantats an bspw. ein Mobiltelefon (Stöver et al. 2020).

## 1.1 Funktionsweise eines Cochlea-Implantats und Versorgungsprozess

Das Cochlea-Implantat-System ist teilimplantierbar und besteht aus einer externen und internen Komponente. Der äußere Teil ist der Audiosprachprozessor und beinhaltet die Energieversorgung des Systems, die Mikrofone und die programmierbare Technik zur Umwandlung des Schalls in elektrische Signale. Der innere Teil, das eigentliche Cochlea-Implantat, wird subkutan eingebracht. Die mehrkanalige Elektrode wird über ein standardisiertes operatives Verfahren in die Scala tympani der Cochlea implantiert (Müller und Oberhoffner 2016).

Trifft Schall auf die Mikrofone des Audiosprachprozessors wird dieser über die individuell eingestellte Signalverarbeitung des Audiosprachprozessors in elektrische Signale umgewandelt. Diese Signale werden anschließend per Induktion über eine Sendespule an das unter der Haut liegende Implantat weitergeleitet. Die Empfängerspule des Implantats nimmt die Signale auf und überträgt diese über eine ebenfalls individuell programmierbare Prozessor-technik auf die intracochleär platzierte Stimulationselektrode. Die Reize der Elektrode erzeugen Aktionspotentiale, welche dann über die Hörbahn weitergeleitet werden. Im zentralen Nervensystem kann so ein auditiver Höreindruck von Geräuschen bis hin zu einem Sprachverstehen ermöglicht werden (DGHNO KHC e.V. 2020; Müller-Deile et al. 2009).

Die CI-Versorgung ist komplex und umfasst neben der operativen Implantation (Phase 2) drei weitere „Phasen“ (DGHNO KHC e.V. 2018a; DGHNO KHC e.V. 2020). Vor dem eigentlichen operativen Einsetzen des Implantates ist eine umfassende präoperative Diagnostik notwendig (Phase 1), welche die subjektive und objektive Erhebung audiometrischer Kenndaten sowie die bildgebende Diagnostik und Einschätzung der Rehabilitationsfähigkeit umfassen (DGHNO KHC e.V. 2018a; DGHNO KHC e.V. 2020). Im Rahmen der Diagnostik wird neben einer

Reintonaudiometrie und der Erhebung der Sprachverständlichkeit in Ruhe auch die Messung von Sprach- bzw. Satztests im Störgeräusch empfohlen. Als Störgeräusch gilt ein zusätzlich dargebotenes Signal, zumeist ein (moduliertes) Rauschen, welches die Sprache (Nutzsignal) verdeckt. Im Anschluss an das operative Einsetzen des Cochlea-Implantats erfolgt in Phase 3 die Basis- und Folgetherapie, in welcher der Sprachprozessor schrittweise an die elektrische Hörschwelle angepasst individuell eingestellt wird. Dies erfordert in der Regel eine ambulante Behandlung oder einen stationären Aufenthalt in einer spezialisierten Rehabilitationseinrichtung. Die Hörschwelle und der Hörerfolg können interindividuell variieren und erfordern eine jeweils zugeschnittene Basis- und Folgetherapie, in der u. a. die elektrische Hörschwelle, Behaglichkeits- und auch Unbehaglichkeitsschwelle ermittelt werden („fitting“). Anhand dieser Kennwerte wird eine individuelle Einstellung der elektrodenspezifischen Stimulation vorgenommen („Map“), welche den Dynamikbereich abbildet und das praktische Erlernen der Reizwahrnehmung mit einem CI ermöglicht (Beutner et al. 2018; DGHNO KHC e.V. 2020). Im Anschluss erfolgt in Phase 4 im Rahmen von regelmäßigen (jährlichen) Kontrollen eine lebenslange Nachsorge (DGHNO KHC e.V. 2018a; DGHNO KHC e.V. 2020).

## 1.2 Überprüfung des Sprachverstehens im Rahmen der Rehabilitation

„Die Entwicklung von Physik und Technik hat in den letzten Jahren und Jahrzehnten dem Arzt eine Fülle neuer Möglichkeiten der Diagnostik und Therapie in die Hand gegeben. Die richtige Anwendung dieser Mittel aber setzt eine gründliche Kenntnis voraus, die für den praktisch tätigen Arzt und Facharzt eine zusätzliche Mühe bedeutet. Auf akustischem Gebiet ist die Audiometrie heute zu einem feinen, ja allerfeinsten diagnostischen Instrument ausgebaut. Schon die richtige Handhabung der Eintonaudiometrie erfordert Kenntnisse und viel praktische Erfahrung. Etwas komplizierter liegen die Dinge noch bei der Sprachaudiometrie, die einerseits den Vorteil hat, daß mit ihr die Gesamtheit des Hörens komplexer Lautgebilde gemessen werden kann, der aber andererseits die Schwierigkeiten einer Meßmethode anhaften, in deren Ergebnis eine große Zahl von Faktoren eingeht. Trotz des größeren Aufwandes an Apparaturen und Sachkenntnis ist diese Methode aber heute unentbehrlich sowohl für die Begutachtung der Hörfähigkeit schlechthin oder der Gehörsänderung durch therapeutische Eingriffe als auch ganz besonders für die Anpassung von Hörgeräten.“ (Zöllner 1957)

Die Aussage Zöllners aus dem Jahr 1957 ist auch noch heute – etwa 60 Jahre später – aktuell. So benennen Hey et al. (2017) die stetige Weiterentwicklung der apparativen Therapie von

Hörstörungen mit resultierenden steigenden Anforderungen gegenüber der Sprachaudiometrie. Die audilogische Beurteilung des Versorgungserfolges geschieht anhand der Messung des offenen Sprachverstehens. Das Sprachverstehen in Ruhe ist dabei seit jeher ein wichtiges Kriterium der erfolgreichen, apparativen Versorgung jeglicher Hörstörungen. Personen mit einer CI-Versorgung, die ein eher schlechtes Sprachverstehen aufweisen, sind jedoch nicht immer in der Lage, diese Sprachtests erfolgreich durchzuführen oder zeigen Bodeneffekte (Cullington und Aidi 2017). Neben der Sprachverständlichkeitsmessung in Ruhe mittels Freiburger Einsilber Test (Hahlbrock 1957), haben sich in den letzten zehn Jahren komplexere Sprachtests mit Satzstruktur für die Evaluierung apparativer Versorgungsungen etabliert. Hierzu zählen sowohl listenbasierte Sprachtests, wie z. B. der Göttinger Satztest (Kollmeier und Wesselkamp 1997) oder der HSM-Satztest (Hochmair-Desoyer et al. 1997; Schmidt et al. 1997) als auch Matrix-Satztests Hagermann 1982. Listenbasierte Tests enthalten zumeist sinnvolle Sätze, welche in ihrer Länge und der Zusammensetzung der Worte variieren können. Matrix-Tests haben für jeden Satz eine gleichbleibende Satzstruktur mit Worten aus einer zuvor festgelegten Auswahl (Matrix), wobei die Sätze i. d. R. nicht sinnhaft sind. Während bei listenbasierten Sprachtests Satzanteile aus dem Kontext erschlossen werden können, stellt der prozedurale Lerneffekt bei der Durchführung der Matrix-Tests in der klinischen Anwendung ein konstantes Problem dar (Wagener 1999), da dieser z. T. auch bei Test-erfahrenen Personen noch nach längerem Training nachgewiesen werden kann (Hey et al. 2014). Zudem erfordert das Wiederholen von Sätzen neben der rein auditorischen Leistung zusätzlich erhöhte kognitive Ressourcen (Cullington und Aidi 2017). Neben der Komplexität des Sprachmaterials kann eine Sprachverständlichkeitsmessung durch ein zusätzliches Störsignal (z. B. Rauschen) erschwert werden, um das Sprachverstehen in alltäglichen Gesprächssituationen besser widerspiegeln zu können. Als Zielmaß wird hierbei die **Sprachverständlichkeitsschwelle**, engl. **Speech Reception Threshold (SRT)** von 50 % Sprachverstehen ermittelt und die Differenz zwischen Nutz- und Störpegel als **Signal-Rausch-Abstand** [ $\text{dB}_{\text{SNR}}$ ], engl. **Signal-to-Noise-Ratio (SNR)** angegeben.

Da die Durchführung eines Sprachtests im Rauschen hohe Anforderungen an die Testperson stellt, gibt es für einige Testverfahren etablierte Einschlusskriterien. Für die Durchführung des Oldenburger Satztestes (Matrix-Test) wurde als Einschlusskriterium ein Sprachverstehen in Ruhe (gemessen mit dem Freiburger Einsilber Test) von 70 bis 80 % etabliert (Hey et al. 2014; Wesarg et al. 2018; Wimmer et al. 2015), welches zwangsweise zum Ausschluss derjenigen Personen (mit einer CI-Versorgung) führt, die ein eher schlechtes Sprachverstehen aufweisen. Andere Studien zeigen ebenfalls, dass nicht alle CI-Versorgten in der Lage sind, ein valides Testergebnis zu erzielen (Hoppe et al. 2019). Eine audilogische Differenzierung und somit ein alltagsnahes Abschätzen des Hörvermögens im Störgeräusch ist daher oft nicht

möglich. Hinzu kommt, dass für die Durchführung von Sprachtests entsprechend schallabsorbierende Hörprüfräume bzw. -kabinen sowie eine spezifische Software erforderlich sind (DIN EN ISO 8253-1 bis 3), die i. d. R. nur speziell ausgestatteten Kliniken (Audiologische Zentren, DGA e.V. 2015) oder den angebundenen CI-Rehabilitationsreinrichtungen vorbehalten sind (de Graaff et al. 2019).

### 1.3 Fragestellung der Arbeit

In dieser Studie wurde eine neue, deutschsprachige Version des **Digits-in-Noise-Test (DiN)** nach Smits et al. (2004) untersucht. Das Sprachmaterial, bestehend aus den Ziffern 0 bis 9, wurde hierfür synthetisch generiert. Die Darbietung der Ziffern, hier als *Digits* bezeichnet, erfolgt in Triplets (z. B. 2 – 7 – 5). Der **DiN-Test** umfasst somit einfaches Sprachmaterial mit einem überschaubaren, geschlossenen Umfang und stellt nur eine geringe Anforderung an den Wortschatz der Testperson (Smits et al. 2013; Smits et al. 2004). Zudem wird weder ein assoziatives (listenbasierte Satztests) noch dissoziatives Denken (sinnfreier Matrixtest) erfordert.

Nach der künstlichen Erzeugung des Sprachmaterials, wurden die Digits in Pilot-Messungen zur deutschen Version des synthetischen **DiN-Tests** hinsichtlich der perceptiven Äquivalenz der einzelnen Items (Digits) innerhalb von drei Iterationen ausbalanciert. Auf diese Weise konnten alle Digits, darunter auch die zweisilbige Ziffer 7, mit in das Sprachmaterial aufgenommen werden. Die Anwendung über Tablets oder Smartphones begünstigt eine intuitive Benutzeroberfläche, welche der Tastatur eines Taschenrechners nachempfunden und einfach zu bedienen ist (de Graaff et al. 2019; Philips et al. 2018). Zusätzlich ermöglicht die App-basierte Darbietungsform eine breite Verfügbarkeit des Tests. Durch die Möglichkeit, das Sprachmaterial über ein Audiokabel direkt in den Sprachprozessor einspeisen zu können, ist die Durchführung auch von zu Hause aus in ruhigen Räumen möglich – unabhängig von speziellen Hörprüfräumen oder kalibrierten Lautsprechersystemen. Zusammengefasst kann auf diese Weise eine differenzierte Abbildung des Hörstatus von Personen mit einer CI-Versorgung auch außerhalb der stationären bzw. ambulanten Rehabilitation ermittelt werden. Weiterführend könnten die Testergebnisse eine wertvolle Ergänzung des bisherigen Data-Loggings des Audiosprachprozessors darstellen (Busch et al. 2017; Hey et al. 2017; Oberhoffner et al. 2018) und neue Einsichten in die Entwicklung des postoperativen Sprachverstehens bieten.

Im Fokus der hier vorgestellten Erhebung standen die Eigenschaften und Charakteristika des neuen synthetischen Tests bei Personen mit Normakusis. Hierzu zählten die **SRT**, die Test-Retest-Variabilität sowie die individuelle **Diskriminationsfunktion (DF)**. Das zweite Augenmerk der Studie lag auf der Durchführbarkeit des **DiN**-Tests bei Personen mit einer **CI**-Versorgung. Die Test-Charakteristika für diese Gruppe wurden in Anlehnung an Hey et al. (2014) ermittelt. Das besondere Interesse lag hierbei auf Personen mit einer **CI**-Versorgung, die mittels Freiburger Einsilber-Test nur ein niedriges Sprachverstehen aufwiesen. Der **DiN**-Test sollte auch bei diesen Personen durchführbar sein. Neben der reinen Durchführbarkeit sollte das Ergebnis des **DiN**-Tests eine bessere Differenzierung ermöglichen und somit eine größere Variabilität der Sprachverständlichkeit widerspiegeln.

## KAPITEL 2

# Material und Methode

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Ärztekammer Berlin positiv votiert (Nr. Eth-40718). Die Teilnahme erfolgte freiwillig und ohne Entschädigung.

Die Messung des **DiN**-Tests erfolgte nach der Erfassung der Sprachverständlichkeit in Ruhe. Diese wurde mittels Freiburger Einsilber Test bei 65 dB<sub>SPL</sub> im Freifeld als gängiger Messwert der Sprachaudiometrie erhoben. Für die Personen mit einer **CI**-Versorgung wurde zusätzlich der Hörverlust für Zahlen ermittelt.

### 2.1 Studienteilnehmende

Insgesamt nahmen 41 erwachsene Personen mit deutscher Muttersprache an der Studie teil, davon 20 Teilnehmende (zwölf weiblich, acht männlich) mit Normakusis und 21 Personen (zwölf weiblich, neun männlich) mit einer uni- bzw. bilateralen **CI**-Versorgung. Alle Teilnehmenden waren zum Zeitpunkt der Messung im Vivantes Klinikum im Friedrichshain in ambulanter bzw. stationärer Behandlung.

Das Alter der **Personen mit Normakusis (NH)** lag zwischen 20 und 56 Jahren (Mittelwert  $\bar{x} = 32$  Jahre). Das Hörvermögen wurde beidseits nach DIN EN ISO 8253-3:2012-08 mittels Reintonaudiometrie überprüft. Die Messungen fanden in geprüften Hörkabinen des HörZentrums Berlin (HZB Vivantes Klinikum im Friedrichshain) unter Verwendung supra-auraler Kopfhörer statt.

In der Gruppe der Personen mit einer **CI**-Versorgung lag das Alter zwischen 29 und 84 Jahren ( $\bar{x} = 52$  Jahre). Die Versorgung war bei 14 Personen unilateral, sieben Personen waren bilateral versorgt. Als Einschlusskriterium galt eine postlinguale ein- oder beidseitige Ertaubung mit einer **CI**-Versorgung in der HNO-Klinik des Vivantes Klinikums im Friedrichshain. Ebenso musste das Implantat mit dem klinikeigenen Prozessor (CP910) kompatibel sein, weshalb nur Personen mit einem Implantat der Serie Cochlear™ Nucleus® (CI512,  $n = 15$  bzw. CI522,  $n = 6$ ) eingeschlossen werden konnten. Mit Ausnahme einer Person, die im Jahr zuvor in

Folge eines akuten Hörsturzes mit einem **CI** versorgt wurde, lag bei allen anderen Teilnehmenden dieser Gruppe ein progredienter Hörverlust vor, welcher vor der Implantation seit mehreren Jahren mit Hilfe eines Hörgeräts kompensiert wurde.

## 2.2 DiN-Testplattform

Die Erstellung des synthetischen Sprachmaterials erfolgte nach (Akeroyd et al. 2015) gemäß der Empfehlungen des **International Collegium of Rehabilitative Audiology (ICRA)** unter Berücksichtigung der Anmerkungen von Smits (2016) und soll an dieser Stelle nur kurz skizziert werden: Zur Generierung der Digits wurde ein kommerzielles Text-to-Speech-System (Sprachsynthese) verwendet. Die Natürlichkeit des Sprachmaterials wurde durch Anpassung der Stimme, Tonhöhe und Sprechrates optimiert. Das Rauschen wurde so generiert, dass es das Spektrum der gesamten Digits abdeckt (Kropp et al. 2020). Um diese Kriterien erfüllen zu können, waren drei Iterationen mit entsprechenden Anpassungen notwendig.

Nach Erstellung des Sprach- und Störsignals wurde im Rahmen einer Pilotstudie an Personen mit Normakusis in einem iterativen Vorgehen die Sprachverständlichkeitsschwelle der einzelnen Digits angeglichen. Hierbei sollte die perzeptive Äquivalenz der einzelnen Digits im Rauschen nicht mehr als 2 dB voneinander abweichen (DIN EN ISO 8253-3:2012-08 2012).

Als weiteres Ziel sollte die Steilheit der **DF**, gemessen mit dem hier vorgestellten **DiN-Test**, mit denen anderer etablierter Matrix-Tests vergleichbar sein. Hierfür wurden der Oldenburger Satztests (Wagener 1999) und der niederländische **DiN-Test** (Smits et al. 2013) herangezogen, wovon beide zeigen eine Steilheit der **DF** von 17 %/dB zeigen. Die Testoberfläche zeigt – ähnlich des Ziffernblocks eines Taschenrechners – eine zehnstellige Matrix (0 bis 9). Die Darbietung der einzelnen Digits wird durch einen neutralen Marker (Lautsprechersymbol) visualisiert. Anschließend soll das Triplet in entsprechender Reihenfolge über den Touchscreen (in diesem Fall eines Apple iPad Mini®) eingegeben werden. Hierbei wird die Eingabe von drei Digits erzwungen, sodass ggf. nichtverstandene Digits erraten werden müssen („forced choice“). Die Testumgebung wurde seitens der Firma Cochlear Ltd. als nicht-kommerzielle Tablet-Anwendung zur Verfügung gestellt.

## 2.3 Testkonditionen

Jede **DiN**-Testliste enthielt 30 Triplets (z. B. 7 – 2 – 5) und somit 90 Items. Diese Itemanzahl ist vergleichbar mit derer anderer Satztest, z. B. des Oldenburger Satztests oder Oldenburger Kindersatztests. Das erste Triplet wurde stets mit einem **SNR** von 0 dB und einem Gesamtpegel von Sprachmaterial und Rauschen von 65 dB(A) angeboten. Die A-Bewertung eines Pegels berücksichtigt die frequenzspezifische Lautstärkewahrnehmung des Menschen in Form einer Übertragungsfunktion, mit welcher das Signal gefiltert wird (Hoffmann et al. 2003).

Die Testdurchführung erfolgte monaural mit dem subjektiv besseren Ohr (Person mit Normakusis) bzw. mit dem (präferierten) **CI**-versorgten Ohr. Um für beide Gruppen ein kalibriertes Signal zu gewährleisten, erfolgte die Darbietung des **DiN**-Testsignals für die Personen mit Normakusis über Kopfhörer (Beyerdynamic DT770 PRO). Für die Personen mit einer **CI**-Versorgung wurde das Signal über ein Audiokabel direkt in den klinikeigenen Messprozessor (CP910) gespeist. Im Vorfeld wurde auf diesen Prozessor die bevorzugte (meist genutzte) Map übertragen und die Standardeinstellung für die Lautstärke (Volume = 10) sowie die Empfindlichkeit des Mikrofoneingangs eingestellt (Sensitivity = 12). Die externen Mikrofone des Prozessors wurden für die Messung ausgeschaltet.

Die Messungen starteten mit der Ermittlung der individuellen Sprachverständlichkeitsschwelle für den **DiN**, wofür ein adaptives Messprozedere mit einfachem „one-up, one-down“-Vorgehen verwendet wurde. Ein Triplet galt nur dann als korrekt eingegeben, sofern alle drei Digits in entsprechender Reihenfolge richtig eingegeben wurden. Folgend wurde der **SNR** um 2 dB abgesenkt. Wurden nicht alle Digits korrekt wiedergegeben, so wurde der **SNR** um 2 dB angehoben. Der Gesamtpräsentationspegel blieb für alle **SNR** stets konstant bei 65 dB(A). Das erste Triplet wurde solange mit sinkendem **SNR** präsentiert, bis es korrekt wiedergegeben wurde. Dieser **SNR** galt folgend als „Baseline“ der Messung ( $SNR_1$ ). Nach der Darbietung von weiteren 30 unterschiedlichen Triplets wurde die Messreihe mit der Berechnung des  $SNR_{31}$  beendet, ohne diesen zu präsentieren. Da die **SRT** bei Personen mit Normakusis um  $-8 \text{ dB}_{SNR}$  erwartet werden kann (entspricht vier korrekt eingegebenen Triplets:  $SNR_1$  bis  $SNR_4$ , Smits et al. 2004), wurden für die Berechnung der **SRT** nach Akeroyd et al. (2015) lediglich die Werte  $SNR_5$  bis  $SNR_{31}$  verwendet.

Im Rahmen der Pilotstudie konnte kein Lerneffekt ( $>1 \text{ dB}_{SNR}$ ) zwischen der Test- und Retest-Messung gefunden werden. Für die Studie galten daher zwei adaptive Messdurchführungen (Test- und Retest) einer Testliste mit jeweils 30 Triplets als ausreichend und es wurde auf die

Durchführung einer zusätzlichen Trainingsliste verzichtet. Sofern das Ergebnis der Retest-Messung mit einer Differenz von  $>1 \text{ dB}_{\text{SNR}}$  besser lag als die Testmessung, so sollte dies als prozeduraler Lerneffekt interpretiert und eine dritte Messreihe erhoben werden.

Die Ermittlung der **DF** wurde im Anschluss an die adaptiven Messungen anhand fester **SNR** durchgeführt. Die Testlisten mit fixen **SNR** sollten den Bereich von 20 bis 80 % Sprachverständlichkeit der Triplets abdecken. Hierfür wurden zwischen drei und fünf Messreihen jeweils bis 3 dB über bzw. 4 dB unter der niedrigsten (gerundeten) individuellen Sprachverständlichkeitsschwelle durchgeführt. Die Anzahl der Messungen wurde von der Konzentrationsfähigkeit der Teilnehmenden abhängig gemacht. Bei Bedarf konnte zwischen den Testreihen pausiert werden.

## 2.4 Statistische Analyse

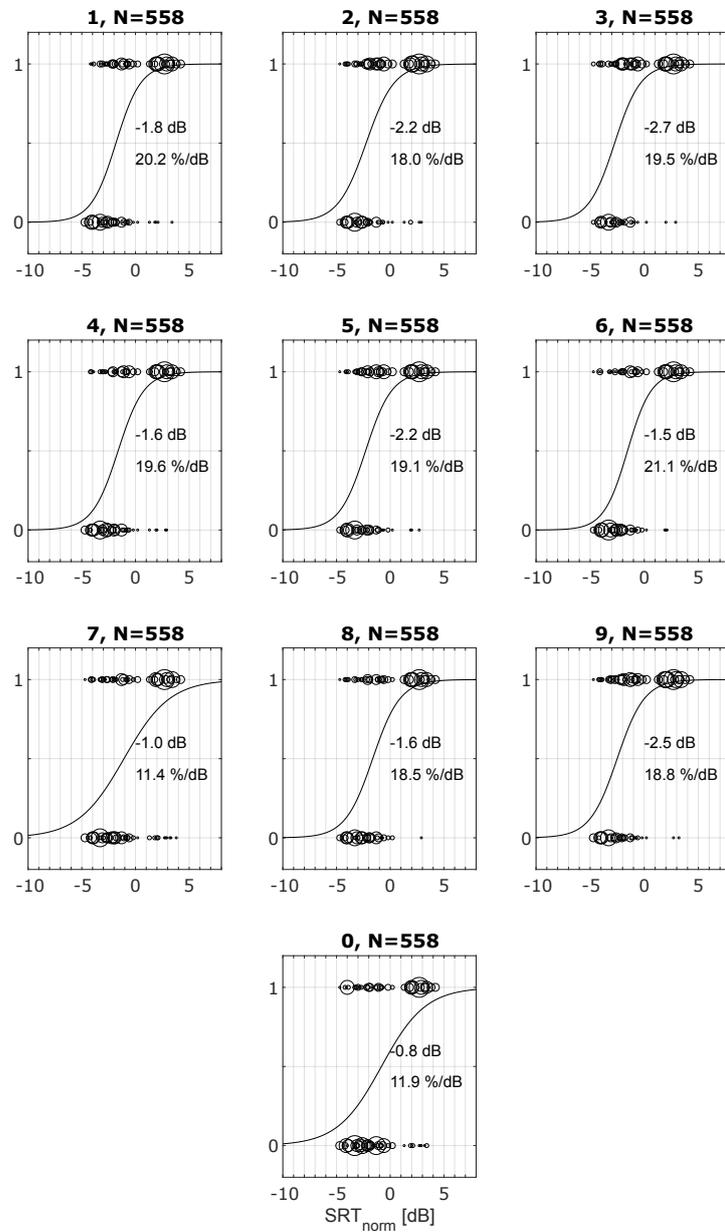
Für die statistische Auswertung und graphischen Darstellung der Ergebnisse wurde die Software MATLAB® R2018a verwendet. Kam es bei der Durchführung der adaptiven Messungen zu einem prozeduralen Lerneffekt  $> 1 \text{ dB}$ , welcher zur Durchführung einer dritten Messreihe führte, wurde in diesen Fällen für die weitere Analyse lediglich der zweite und dritte adaptive Testdurchlauf verwendet und die erste Testmessung verworfen. Die Berechnung der **DF** wurde mittels logistischer Regression nach dem Newton-Raphson-Verfahren durchgeführt (Deuflhard und Hohmann 2002). Für die Berechnung des Zusammenhangs zwischen der Sprachverständlichkeitsschwelle des **DiN**-Tests und dem Freiburger Zahlen- bzw. Einsilber Test in Ruhe wurde die Rangkorrelationsanalyse nach Spearman (Spearman'sches Rho) verwendet.

## KAPITEL 3

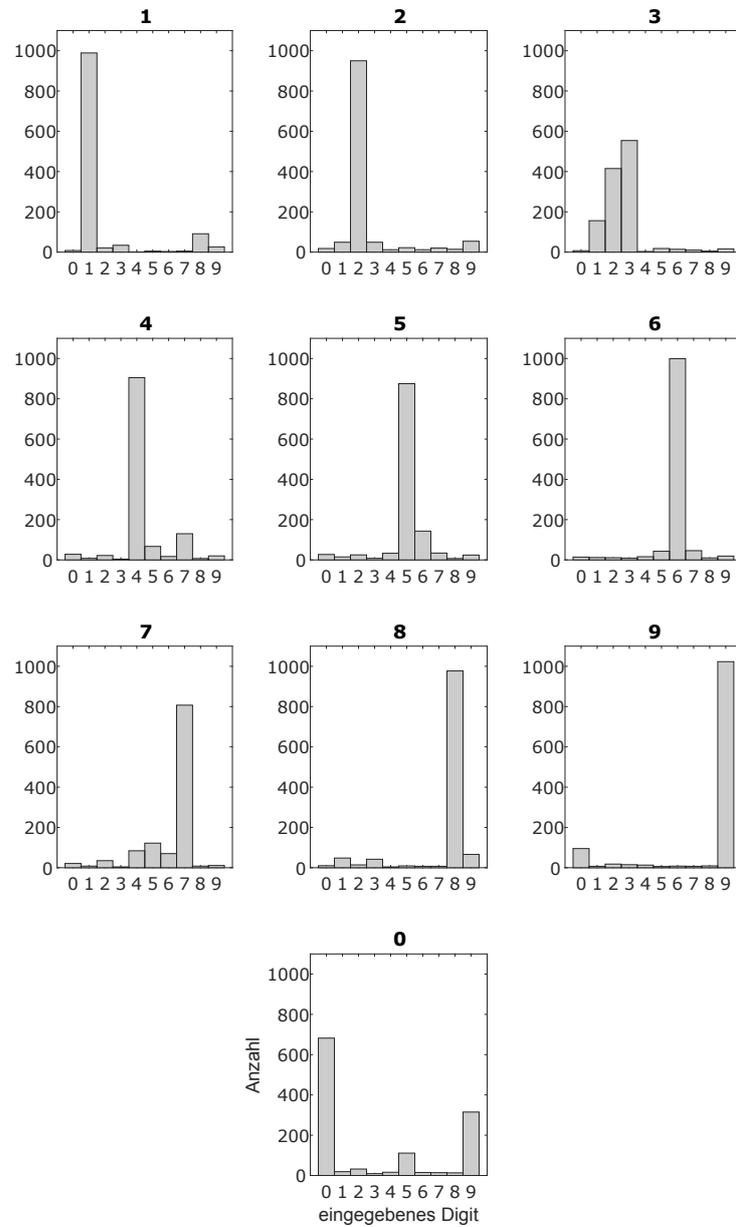
# Ergebnisse

Im Rahmen der Pilotstudie wurde die perzeptive Wahrnehmung der einzelnen Digits ( $n_{\text{digit}} = 558$ ) anhand der Messungen mit fixem **SNR** für Personen mit Normakusis berechnet. Abbildung 3.1 zeigt die perzeptive Wahrnehmung, normiert auf die Sprachverständlichkeitsschwelle des Triplets ( $\text{SRT}_{\text{norm}}$ ). Die y-Achse gibt an, ob das Digit bei entsprechendem **SNR** korrekt (1) oder falsch (0) angegeben wurde. Je größer der Kreis, desto mehr Datenpunkte sind enthalten. Die einzelnen **SRT** lagen zwischen  $-0,8 \text{ dB}_{\text{SNR}}$  für das Digit 0 und  $-2,0 \text{ dB}_{\text{SNR}}$  für das Digit 3. Ein negativer Wert der  $\text{SRT}_{\text{norm}}$  bedeutet dabei eine niedrigere (bessere) **SRT** des einzelnen Digits in Bezug auf das gesamte Triplet. Ebenso ist die Steilheit (engl.: *slope* [ $\%/\text{dB}_{\text{SNR}}$ ]) der **DF** bei gegebener **SRT** aufgeführt. Die geringste Steigung zeigte das Digit 7 mit  $11 \%/ \text{dB}$ , die größte das Digit 6 mit  $21 \%/ \text{dB}$ . Eine mittlere  $\text{SRT}_{\text{norm}}$  von  $-1,16$  zusammen mit einer mittleren Steilheit ( $s_{50}$ ) von  $18 \%/ \text{dB}$  lässt darauf schließen, dass die gemessene Sprachverständlichkeit eines einzelnen Digits bei etwa  $80 \%$  Sprachverstehen lag.

Alle 41 Teilnehmenden der hier vorgestellten Studie konnten den **DiN**-Test unabhängig ihres Einsilbersprachverstehens in Ruhe durchführen. Bei Verwendung des Sprachmaterials, mit welchem die Teilnehmenden der **NH**-Gruppe eine perzeptive Äquivalenz innerhalb  $2 \text{ dB}$  erreichten, zeigten sich für die Gruppe der Personen mit einer **CI**-Versorgung jedoch Unterschiede in der Sprachverständlichkeit der Digits (Anzahl der Darbietungen der einzelnen Digits zwischen  $n_{\text{digit}_7} = 1035$  und  $n_{\text{digit}_0} = 1089$ ). Es konnte beobachtet werden, dass einige Digits für sie weiterhin schwer zu differenzieren waren und häufiger als andere Digit-Paare vertauscht wurden (siehe Abbildung 3.2). Dies zeigte sich am deutlichsten für das Digit 3, bei dem auffallend häufig entweder das Digit 1 oder 2 als verstanden angegeben wurde. Für die umgekehrten Fälle (Darbietung der Digits 1 und 2) konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden. Das Digit 1 wurde hingegen am häufigsten mit dem Digit 8 vertauscht. Bei Darbietung des Digits 4 wurde bei Nicht-Verstehen die 7 am häufigsten ausgewählt, auch hier gilt dies nicht im umgekehrten Fall. Eine weitere Häufung war bei der Vertauschung des Digits 0 mit dem Digit 9 (umgekehrt ist dies deutlich schwächer ausgeprägt) bzw. 5 zu sehen. Wurde das Digit 5 nicht korrekt erkannt, wurde am häufigsten die 6 angegeben. Es wurde die Vermutung angestellt, dass sich das Bild der Konfusionsmatrix der Personen mit **CI** mit



**ABBILDUNG 3.1** Perzeptive Wahrnehmung der Testitcms (Digits,  $n_{\text{digit}} = 558$ ) im Rahmen der Pilotstudie. Die einzelne Sprachverstandlichkeitsschwelle (SRT) bezieht sich auf die SRT des Triplets.



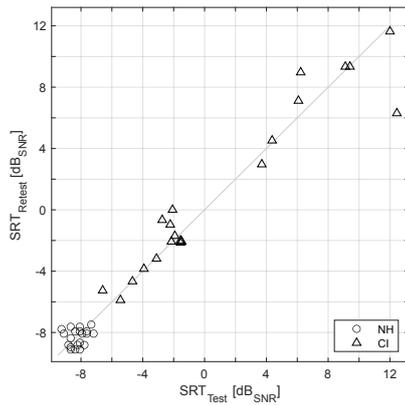
**ABBILDUNG 3.2** Graphische Darstellung der Konfusionsmatrix der Personen mit einer CI-Versorgung (adaptive und fixe Messung). Für das jeweilige Digit 0 bis 9 ist aufgetragen, welches Digit als verstanden angegeben wurde. Die Anzahl der Darbietungen betrug zwischen  $n = 1035$  (Digit 7) und  $n = 1089$  (Digit 0).

steigendem Sprachverstehen (in Störlärm) dem der Personen mit Normakusis angleicht. Um dies zu untersuchen, wurde eine Rangkorrelation nach Spearman für die häufigsten Digit-Vertauschungen (dargebotenes Digit vs. eingegebenes Digit) durchgeführt. Die Auswahl umfasste die Digit-Paare 0 vs. 5, 0 vs. 9, 1 vs. 8, 3 vs. 1, 3 vs. 2, 4 vs. 7, 5 vs. 6 sowie 9 vs. 0. Lediglich für die Vertauschung der Digits 9 vs. 0 zeigte sich eine signifikante geringe Korrelation zur **SRT** ( $R = 0,51; p = 0,02$ ). Für die Paare 0 vs. 5 ( $R = -0,72; p < 0,01$ ) und 4 vs. 7 ( $R = -0,48; p = 0,03$ ) zeigte sich hingegen eine geringe bzw. moderate negative Korrelation. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich bei Verwendung einer größeren Stichprobe unter Berücksichtigung der Alphafehler-Kumulierung eine Abhängigkeit zwischen der **SRT** und der Vertauschung der Digits zeigt.

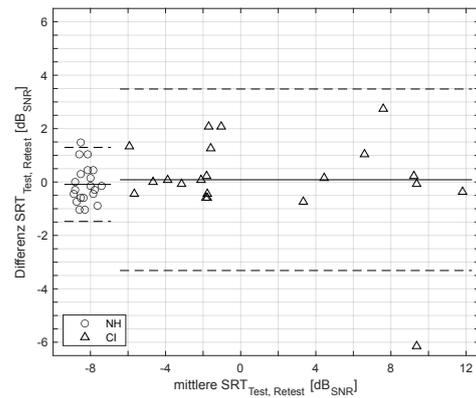
### 3.1 Adaptive Messungen

Abbildung 3.3 zeigt das Ergebnis der adaptiven **SRT**-Messungen [ $\text{dB}_{\text{SNR}}$ ] (Test-Retest). In der Gruppe der Personen mit Normakusis (**NH**, Kreise) zeigten drei von 20 Personen einen Lerneffekt  $> 1 \text{ dB}$  ( $-1,2$  bzw.  $-1,9 \text{ dB}_{\text{SNR}}$ ). Nach Verwerfen des ersten Testdurchlaufes und Durchführung einer dritten adaptiven Messung lag die Test-Retest-Differenz für alle Teilnehmenden der **NH**-Gruppe innerhalb von  $1 \text{ dB}$ . In der Gruppe der Personen mit einer **CI**-Versorgung (Dreiecke) zeigte etwa die Hälfte einen Lerneffekt (elf von 21) und durchliefen somit eine dritte adaptive Messreihe. Lediglich für eine Person zeigte sich weiterhin eine Verbesserung des **DiN**-Testergebnisses  $> 1 \text{ dB}$ . Auf eine weitere adaptive Testmessung wurde jedoch verzichtet, um einer Ermüdung vorzubeugen.

Die Ergebnisse der Test- und Retest-Messungen sind in Abbildung 3.3A aufgetragen (Winkelhalbierende in grau, Abbildung angepasst nach Kropp et al. 2020). Der Medianwert der **SRT** der **NH**-Gruppe lag bei  $-8,1 \text{ dB}_{\text{SNR}}$  (Spannweite:  $-9,3$  bis  $-7,2 \text{ dB}_{\text{SNR}}$ ). In der Gruppe der Personen mit einer **CI**-Versorgung wurden **SRT**-Werte zwischen  $-6,6$  und  $+12,4 \text{ dB}_{\text{SNR}}$  erreicht. Die Abbildung 3.3B zeigt die Test-Retest-Differenzen [ $\text{dB}_{\text{SNR}}$ ] aufgetragen gegen den Mittelwert beider adaptiven Messungen als Bland-Altman-Plot (Bland und Altman 2010). Die dazugehörigen 95 %-Konfidenzintervalle sind als gestrichelte Linien eingetragen. Ein negativer  $y$ -Wert beschreibt ein besseres Ergebnis im Retest im Vergleich zum Ergebnis der Testmessung. Die Ergebnisse der Personen mit einer **CI**-Versorgung zeigten keine signifikante Korrelation zwischen dem Median der **SRT** und der Test-Retest-Differenz bei Messung des **DiN**-Tests ( $R = -0,247; p = 0,92$ ). Für beide Gruppen lag die mittlere Test-Retest-Differenz nahe Null (durchgezogenen Linie).

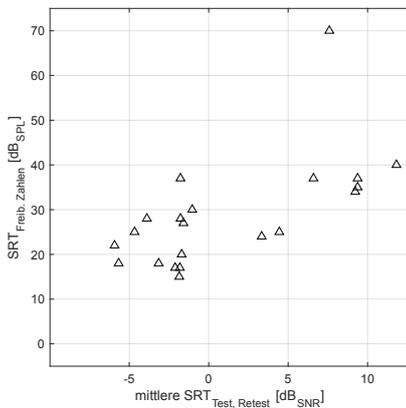


**A** Ergebnisse der Test-Retest-Messungen mit eingezeichneter Winkelhalbierender.

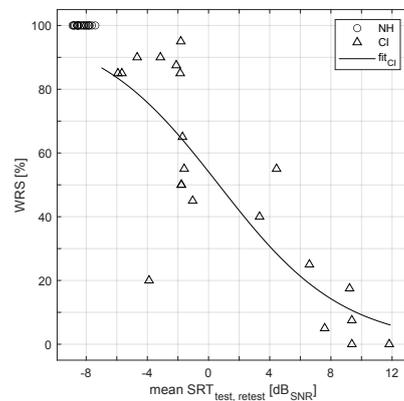


**B** Test-Retest-Ergebnisse als Bland-Altman-Plot. Durchgezogene Linie: Mittelwert, gestrichelte Linie: 95 %-Konfidenzintervall.

**ABBILDUNG 3.3** Sprachverständlichkeitsschwelle (SRT) der Personen mit Normakusis ( $n = 20$ , Kreise) und der Personen mit einer CI-Versorgung ( $n = 21$ , Dreiecke). Abbildungen angepasst nach Kropp et al. (2020).



**A** Mittleres DiN-Testergebnis der Personen mit einer CI-Versorgung aufgetragen gegen den Hörverlust für Zahlen (HVZ), gemessen mittels Freiburger Zahlentest.



**B** Mittleres DiN-Testergebnis aufgetragen gegen das Einsilber-Sprachverstehen in Ruhe (WRS, gemessen mittels Freiburger Einsilber-Test) bei 65 dB<sub>SPL</sub>. Abbildung angepasst nach Kropp et al. (2020).

**ABBILDUNG 3.4** Zusammenhang zwischen den mittleren, adaptiven Testergebnissen des DiN-Tests (Test-Retest) und dem Sprachverstehen in Ruhe. Kreise: Personen mit Normakusis; Dreiecke: Personen mit einer CI-Versorgung.

Abbildung 3.4 zeigt die gemittelten adaptiven Messergebnisse des **DiN**-Tests im Zusammenhang mit dem Sprachverstehen in Ruhe (jeweils monaural gemessen). Hierfür wurde für die Personen mit einer **CI**-Versorgung der **HVZ** mittels Freiburger Zahlen-Test gemessen (siehe Abbildung 3.4A). Das Ergebnis des **DiN**-Tests zeigte im Zusammenhang mit dem Ergebnis des **HVZ** eine signifikante, mittlere bis hohe Korrelation ( $R = 0,7$ ;  $p < 0,01$ ). Für beide Gruppen wurde zusätzlich das **Einsilber-Sprechverstehen [%]**, engl. **Word Recognition Score (WRS)**, bei  $65 \text{ dB}_{\text{SPL}}$  in Ruhe gemessen. Die Teilnehmenden mit Normakusis (Kreise) erreichten erwartungsgemäß 100 % Einsilbersprachverstehen (siehe Abbildung 3.4B, angepasst nach Kropp et al. 2020). Bei den Teilnehmenden mit einer **CI**-Versorgung (Dreiecke) umfasste das Sprachverstehen einen Bereich von 0 bis 95 %. Die logistische Regression nach dem Newton-Raphson-Verfahren wurde nur für diese durchgeführt. Es zeigte sich eine signifikante, hohe Korrelation mit dem Sprachverstehen in Störgeräusch ( $R = -0,80$ ;  $p < 0,01$ ). Die Personen, die ein Ergebnis nahe 0 oder 100 % Einsilbersprachverstehen aufwiesen, zeigten eine hohe Streuung bei Vergleich der **SRT**.

Tabelle 3.1 zeigt zusammengefasst für beide Gruppen (**NH**, **CI**) die statistischen Parameter der Test-Retest-Charakteristika der adaptiven Ermittlung der **SRT**. Eine positive Test-Retest Differenz bedeutet eine bessere **SRT** in der Retest-Messung, eine negative Test-Retest Differenz bedeutet ein besseres Ergebnis im ersten Messdurchlauf. Die Test-Retest Differenzen der **CI**-Versorgten zeigen eine deutlich größere Streuung als die der **NH**. Dies liegt jedoch vor allem an wenigen Ausreißern. Die größte absolute Test-Retest Differenz von  $6,1 \text{ dB}_{\text{SNR}}$  wurde bei derjenigen Person mit einer **CI**-Versorgung beobachtet, welche die höchste (schlechteste) **SRT** zeigte.

Der Verlauf der in die Analyse aufgenommenen adaptiven Test-Retest-Messungen der Personen mit einer **CI**-Versorgung ist in Abbildung 3.5 dargestellt.  $\text{SNR}_1$  entspricht dem Baseline-**SNR** ( $\text{SNR}_1$ ), d. h. ab dem **SNR**, bei dem erstmalig das präsentierte Triplet korrekt eingegeben

**TABELLE 3.1** Sprachverständlichkeitsschwelle (**SRT**), ermittelt in den adaptiven Messungen (Test-Retest) der Personen mit Normakusis (**NH**) sowie der Personen mit einer **CI**-Versorgung. Tabelle angepasst nach Kropp et al. (2020).

	[dB]	Minimum	1. Quartil	Median	3. Quartil	Maximum
<b>NH</b>	Test-Retest Differenz	-1,0	-0,6	-0,2	0,4	1,5
	Absolute Test-Retest Differenz	0,0	0,3	0,4	1,0	1,5
<b>CI</b>	Test-Retest Differenz	-6,1	-0,4	0,1	1,1	2,7
	Absolute Test-Retest Differenz	0,0	0,1	0,4	1,3	6,1

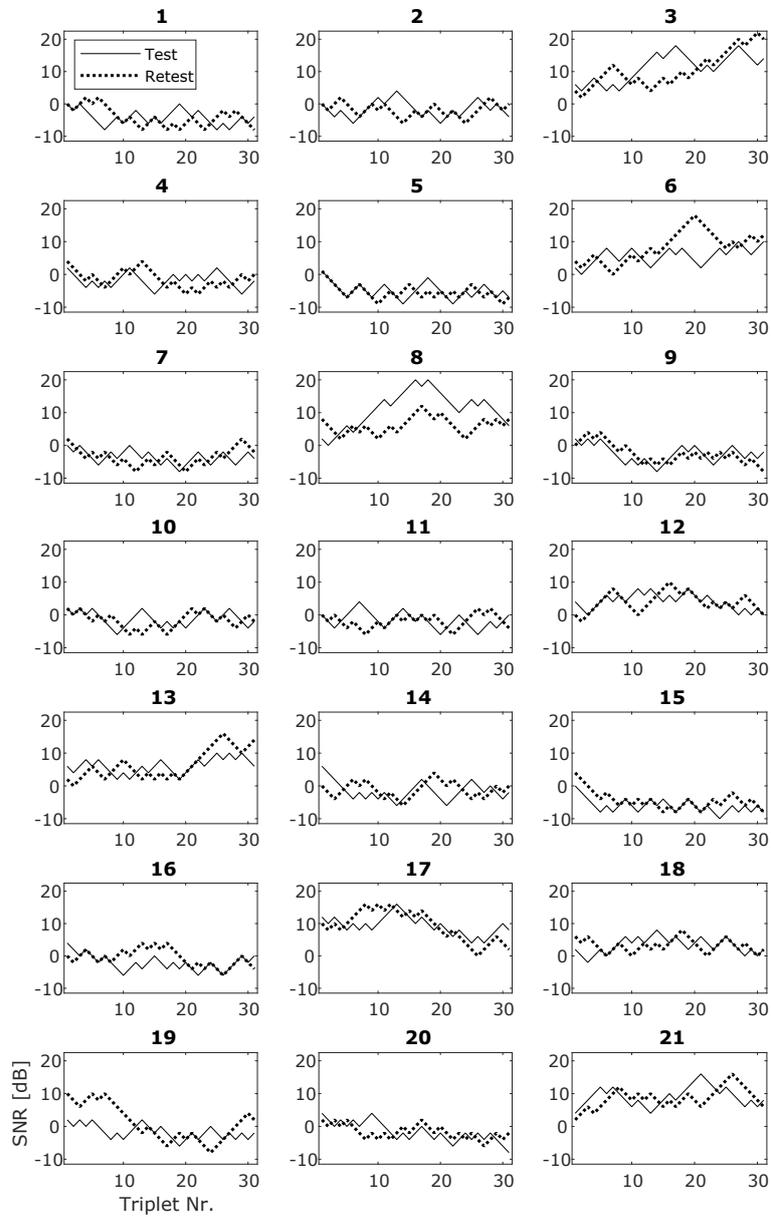
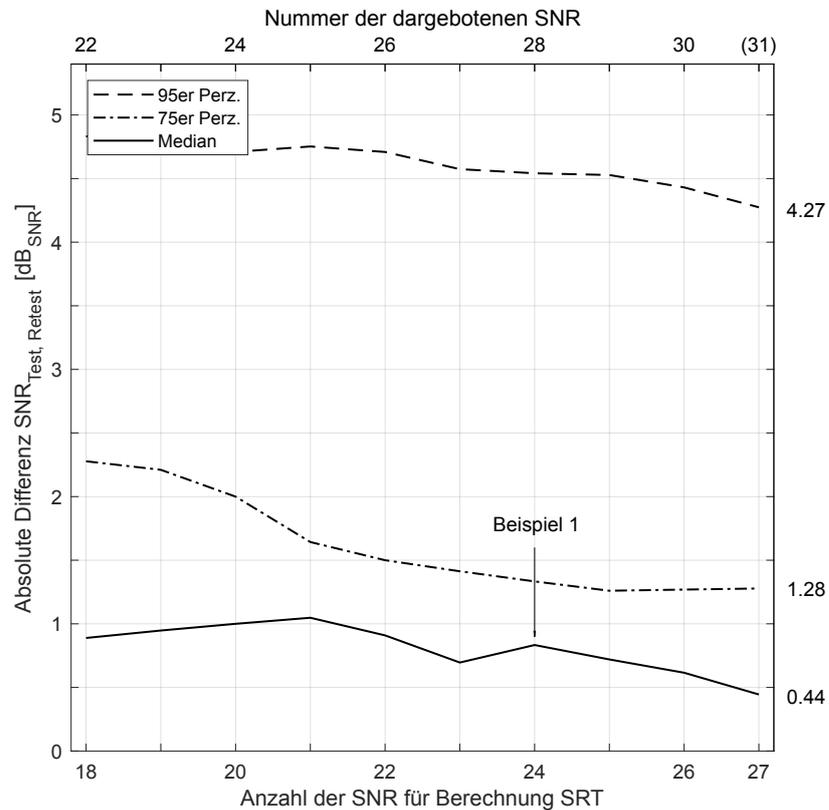


ABBILDUNG 3.5 Verlauf der adaptiven Test-Retest-Messung der Personen mit einer CI-Versorgung

wurde. Bei vier Personen mit einer **CI**-Versorgung war dies sowohl im Test- als auch im Retest bereits bei der ersten Darbietung der Fall, weshalb bei CI1, CI2, CI5 und CI11 beide Graphen bei  $0 \text{ dB}_{\text{SNR}}$  beginnen. Wurden nach Darbietung des ersten Triplets nicht alle Digits korrekt erkannt, so wurde der Signalpegel des Triplets unter Beibehaltung der Gesamtsignallautstärke von  $65 \text{ dB(A)}$  um jeweils  $2 \text{ dB}$  erhöht, bis das gesamte Triplet korrekt eingegeben wurde. In diesen Fällen (z. B. CI17) beginnt der Verlauf der Graphen bei einem positiven **SNR**. Bei einigen Teilnehmenden der Gruppe mit **CI** zeigten sich große Unterschiede zwischen den Baseline-**SNR** (z. B. CI19) für die Test- bzw. Retest-Messung. Ein Grund hierfür war die vermehrte Vertauschung einzelner Digits innerhalb des Triplets (siehe Abbildung 3.2, z. B. 3 – 4), welche zur schrittweisen Erhöhung des **SNR** bei gleichbleibender Darbietung des Triplets führte, wenngleich die Schwelle zu einem deutlich besseren (kleineren) **SNR** lag. Wurde mit einem Triplet begonnen, in dem diese häufig vertauschten Digits nicht vorkamen (z. B. 2 – 8 – 6), so wurde es häufiger bereits bei der ersten Darbietung ( $0 \text{ dB}_{\text{SNR}}$ ) korrekt wiedergegeben.

Im Rahmen der Studie wurde mit Blick auf die klinische Anwendbarkeit des **DiN**-Tests an Personen mit einer **CI**-Versorgung die Mindestanzahl der verwendeten Triplets unter Beibehaltung einer reproduzierbaren **SRT** überprüft. Hierfür wurden die durchgeführten Test-Retest-Verläufe der Personen mit **CI**-Versorgung mit reduzierter Triplet-Anzahl simuliert (Daten aus Abschnitt 3.1) und die resultierende absolute Test-Retest-Differenz berechnet. In Abbildung 3.6 ist die Anzahl der dargebotenen **SNR** (obere x-Achse,  $\text{SNR}_{31}$  als berechneter Wert in Klammern) und die Anzahl der zur Berechnung der **SRT** verwendeten **SNR** (mit Auslassen der  $\text{SNR}_1$  bis  $\text{SNR}_4$  nach Akeroyd et al. 2015) gegen die absolute Test-Retest-Differenz aufgetragen. Zur Veranschaulichung der Datenverteilung wurde eine nicht-parametrische Analyse durchgeführt. Neben dem jeweils resultierenden Medianwert der Differenz (durchgezogene Linie) ist ebenso das 75er- und 95er-Perzentil eingetragen (Punkt-Strich-Linie bzw. gestrichelte Linie). Mit zunehmender Anzahl an Triplets sank die absolute Test-Retest-Differenz [dB]. Die hohen Werte beider Perzentile waren jeweils von nur wenigen Ausreißern beeinflusst.

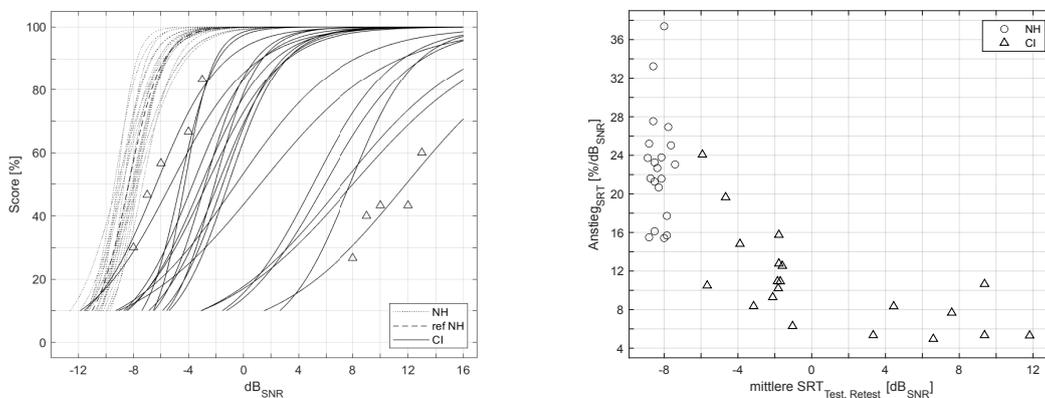
Die in dieser Studie verwendete Tripletanzahl von 30 führte zu einem Medianwert der Test-Retest-Differenz von  $0,44 \text{ dB}_{\text{SPL}}$  (berechnet aus  $\text{SNR}_5$  bis  $\text{SNR}_{31}$  nach Akeroyd et al. 2015). Bei einer simulierten Reduzierung der Tripletanzahl auf 27 (entspricht 28 berechneten **SNR**, siehe „Beispiel 1“ in Abbildung 3.6) ergab sich als Test-Retest-Differenz der **SRT** ein Median  $\tilde{x} = 0,83 \text{ dB}_{\text{SNR}}$ . Damit läge der Median etwa doppelt so hoch im Vergleich des Medians nach Durchführung von 30 dargebotenen **SNR**.



**ABBILDUNG 3.6** Resultierender Signal-Rausch-Abstand (SNR, Median-Wert) der Personen mit einer CI-Versorgung in Zusammenhang mit der Anzahl der gemessenen Triplets. Obere x-Achse: Anzahl der berechneten SNR; untere x-Achse: Anzahl der in die simulierte Berechnung der SRT eingeschlossenen Triplets. Durchgezogene Linie: Median der Test-Retest-Differenz [dB]; gepunktete bzw. gestrichelte Linie: 75- bzw. 95-Perzentil. Abbildung angepasst nach Kropp et al. (2020).

## 3.2 Messungen mit festen SNR

Für die Ermittlung der **DF** sollte ein Sprachverstehen von 20 bis 80 % abgedeckt werden. Bei einer Person mit einer **CI**-Versorgung konnte jedoch nach absolvieren von zwei adaptiven und vier fixen Messungen keine **DF** ermittelt werden, da das Sprachverstehen den geforderten Bereich nicht ausreichend abdecken konnte. Aufgrund von von Müdigkeitserscheinungen musste die Datenerhebung abgebrochen werden. Für die weitere Analyse musste dieser Datensatz daher ausgeschlossen werden. Die weiteren 20 Personen mit einer **CI**-Versorgung absolvierten im Anschluss an die adaptiven Messungen drei ( $n = 12$ ), vier ( $n = 3$ ) bzw. fünf ( $n = 5$ ) weitere Testlisten mit fixen **SNR** und konnten damit den erforderlichen Bereich abdecken, jeweils ohne Zeichen von Müdigkeit aufzuweisen.



**A** Diskriminationsfunktionen (DF) der Personen mit Normakusis als gepunktete Linie bzw. die mittlere DF als gestrichelte Linie. Die durchgezogenen Linien zeigen die DF der Personen mit einer **CI**-Versorgung (Dreiecke: Datenpunkte für die DF mit der höchsten bzw. niedrigsten **SNR**).

**B** Mittelwert der **SRT** (Test-Retest-Messung) aufgetragen gegen die Steigung der DF bei **SRT** ( $s_{SRT}$ ). Kreise: Datenpunkte der Personen mit Normakusis; Dreiecke: Datenpunkte der Personen mit einer **CI**-Versorgung.

**ABBILDUNG 3.7** Diskriminationsfunktionen (**DF**) und deren Steigungen [%/dB<sub>SNR</sub>] für die Gruppe der **NH** und **CI**). Abbildungen angepasst nach Kropp et al. (2020).

Die Abbildung 3.7A zeigt die **DF** der Personen mit Normakusis (gepunktete Linie) sowie die gemittelte **DF** als gestrichelte Linie. Die **DF** der Personen mit einer **CI**-Versorgung sind als durchgezogene Linie dargestellt. Für die Personen der **NH**-Gruppe lagen die **DF** sehr nah beieinander. Die maximale Steigung bei 50 % Sprachverstehen ( $s_{SRT}$ ) betrug zwischen 15 und 37 %/dB<sub>SNR</sub> mit einem Median von 23 %/dB<sub>SNR</sub>. Die **DF** der Personen mit **CI**-Versorgung zeigten dagegen eine große Variabilität. Für den jeweils niedrigsten und höchsten Wert der **SNR**

sind die einzelnen Messpunkte bei fixen **SNR** eingezeichnet (Dreiecke). Generell lag die Steigung der **DF** bei den Personen mit Versorgung bei  $s_{\text{SRT}}$  niedriger (5 bis 24 %/dB<sub>SNR</sub>) im Vergleich zu den Werten der **NH**.

Die Abbildung 3.7B zeigt die Mittelwerte der **SRT** (Test-Retest, [dB<sub>SNR</sub>]) im Zusammenhang mit der Steigung [%/dB<sub>SNR</sub>] bei  $s_{\text{SRT}}$ . Es besteht eine relativ hohe Korrelation zwischen der mittleren adaptiven **SRT** und der  $s_{\text{SRT}}$  ( $R = -0,68$ ;  $p < 0,01$ ). Die Werte der **NH**-Gruppe (Kreise) liegen eng beieinander, während die Personen mit einer **CI**-Versorgung (Dreiecke) eine breite Streuung bei kleinerer Steigung und geringeren Mittelwerten aufweisen. Dennoch liegen einzelne Steigungen der **CI**-Versorgten im Bereich der Teilnehmenden mit Normakusis.

## KAPITEL 4

# Diskussion

In dieser Studie wurde eine neue deutsche, synthetische Version des **Digits-in-Noise-Test (DiN-Test)** an Personen mit normalen Gehör evaluiert. Hierfür wurden die perzeptive Äquivalenz der einzelnen Digits, die Sprachverständlichkeitsschwellen (**SRT**), Test-Retest-Variabilität und die Diskriminationsfunktionen (**DF**) erhoben. Darüber hinaus wurden die Anwendbarkeit und die Testcharakteristika bei Personen mit einer **CI-Versorgung** ermittelt.

Die Item-spezifische **SRT** lag nach Anpassung des Sprachmaterials im Rahmen der Pilotstudie innerhalb eines 2 dB-Fensters über alle Digits (siehe Abbildung 3.1). Das Ziel der perzeptiven Äquivalenz konnte somit erreicht und auf ein homogenes Sprachmaterial geschlossen werden. In der Gruppe der Personen mit einer **CI-Versorgung** zeigte sich dennoch eine Häufung der Vertauschung einzelner Digits (z. B. Digit 3 und Digit 0, siehe Abbildung 3.2). Ein Zusammenhang zwischen der **SRT** und der Häufigkeit der Vertauschungen konnte jedoch nur für das Digit-Paar 0 (dargebotenes Digit) vs. 5 (eingegebenes Digit) gefunden werden. Es wird jedoch vermutet, dass in einer größeren Stichprobe eine Korrelation zwischen **SRT** und Konfusionsmatrix gefunden werden kann. Um dies bestätigen zu können, sind weitere Erhebungen notwendig.

Der **DiN-Test** zeigte eine hohe Anwendbarkeit bei Personen mit einer **CI-Versorgung**, unabhängig von deren individuellem Sprachverstehen in Ruhe. Zusätzlich konnte mittels **DiN-Test** das Sprachverstehen (bei Personen mit einer **CI-Versorgung**), die bei Messung des Freiburger Einsilber Tests Ergebnisse im Sättigungsbereich zeigten, detaillierter aufgeschlüsselt werden (siehe Abbildung 3.4B). Mittels **DiN-Test** können somit kleine Veränderungen im Sprachverstehen aufgezeigt werden, die mit anderen Test aufgrund von Ergebnissen im Sättigungsbereich übersehen werden. Mit Nutzung des **DiN-Tests** könnte somit auch bei Patienten, die mittels Freiburger Einsilber-Test nicht ausreichend differenziert werden können, eine Hörentwicklung quantifiziert werden.

## 4.1 Messungen mit adaptivem und fixen SNR

Die erreichte **SRT** lag nach Durchführung der Test- und Retest-Messungen bei den Personen mit Normakusis jeweils in einem ähnlichen Bereich. Von den 20 Teilnehmenden erlangten 17 eine Differenz von  $> 1$  dB. Die Steilheit der gemittelten Referenz-**DF** (siehe Abbildung 3.7) fiel mit 23 %/dB im Vergleich zu anderen, etablierten Matrix-Satztests (siehe Abschnitt 2.2) ausreichend hoch aus.

Für beide Gruppen lag die mittlere Test-Retest-Differenz sowie der Median-Wert nahe Null (siehe Tabelle 3.1). In der Gruppe der Personen mit Normakusis zeigten lediglich 3 von 20 Teilnehmende einen Lerneffekt  $> 1$  dB ( $-1,2$  dB<sub>SNR</sub> bzw.  $-1,9$  dB<sub>SNR</sub>) zwischen der Test- und Retest-Messung. Mit Durchführung einer dritten adaptiven Testmessung konnte eine Test-Retest-Differenz von  $< 1$  dB<sub>SNR</sub> erzielt werden. Smits et al. (2013) konnten in ihrer Studie ein ähnliches Ergebnis hinsichtlich des Lerneffektes bei Personen mit Normakusis finden.

Bei den Personen mit einer **CI**-Versorgung benötigten elf von 21 und damit etwa die Hälfte der Personen entsprechend des vordefinierten Verfahrens einen dritten Testdurchlauf (Test-Retest-Differenz von bis zu  $-2,7$  dB<sub>SNR</sub> mit einem Ausreißer bei  $-32,3$  dB<sub>SNR</sub>). Für zehn dieser elf Teilnehmenden konnte mit der Durchführung einer dritten adaptiven Testliste ein weiterer Lerneffekt ausgeschlossen werden.

Den deutlichsten prozeduralen Lerneffekt zwischen der ersten und zweiten adaptiven Messung zeigte CI3. Nach Erreichen einer **SRT** von  $+44,3$  dB<sub>SNR</sub> nach der ersten adaptiven Testliste, ergab sich nach Absolvieren der zweiten adaptiven Messung eine **SRT** von  $+12,0$  dB<sub>SNR</sub>, was einer Verbesserung von  $32,3$  dB<sub>SNR</sub> entspricht. Nach Durchführung einer dritten adaptiven Testliste bestätigte sich diese **SRT** mit einem Ergebnis von  $+11,6$  dB<sub>SNR</sub> (verbleibende Test-Retest-Differenz zwischen der zweiten und dritten adaptiven Messung von  $-0,4$  dB<sub>SNR</sub>). Ebenso zeigten CI6, CI15 sowie CI19 eine Test-Retest-Differenz  $> 1$  dB<sub>SNR</sub>. In der dritten adaptiven Messung erreichten sie jedoch eine höhere (schlechtere) **SRT**, möglicherweise aufgrund von Ermüdung. In diesen Fällen wurde eine kurze Pause eingelegt, bevor mit den weiteren Messungen mit fixen **SNR** fortgefahren wurde. Allein Person CI8 zeigte auch nach der, entsprechend des Protokolls durchgeführten dritten adaptiven Messung, noch immer eine Differenz  $> 1$  dB<sub>SNR</sub>. Auf eine vierte adaptive Testliste wurde jedoch verzichtet, um im Folgenden einer Ermüdung vorzubeugen. In zukünftigen Studien sollte überprüft werden, in wie weit ein Lerneffekt, welcher auch nach zwei Testdurchläufen weiterhin besteht, die Anwendbarkeit des **DiN**-Tests bei Personen mit einer **CI**-Versorgung einschränken könnte. Nach Philips et al. (2018) könne jedoch angenommen werden, dass mit steigender Vertrautheit mit

dem Test ein möglicher Lerneffekt weiter sinke und Müdigkeit nur eine untergeordnete Rolle spiele, wenn der Test in der häuslichen Umgebung durchgeführt werde.

Die ermittelten Steilheiten der **DF** lagen für die Teilnehmenden mit Normakusis zwischen 15 und 37 %/dB<sub>SNR</sub> (siehe Abbildung 3.7). Mit einer Steilheit der **DF** zwischen 5 und 24 %/dB<sub>SNR</sub> zeigten die Personen mit einem **CI** vergleichbare Ergebnisse wie in der Studie von Hey et al. (2014) gefunden werden konnten. In der Studie von Hey et al. (2017) wurden die **DF** von Personen mit einer **CI**-Versorgung anhand eines Matrix-Satztest erhoben. Die geforderte Sprachverständlichkeit in Ruhe von 70 bis 80 % als etabliertes Einschlusskriterium zur Durchführung eines solchen Sprachtests (Hey et al. 2014; Wesarg et al. 2018; Wimmer et al. 2015) führt jedoch unweigerlich zu einer Verzerrung der Daten, weshalb ein direkter Vergleich der Daten nicht möglich ist. Für den hier vorgestellten **DiN**-Test ist ein solches Einschlusskriterium nicht notwendig, da er auch bei einem Einsilbersprachverstehen in Ruhe von 0 % durchführbar ist. Die sieben der 21 Teilnehmenden der hier vorstellten Studie, die eine entsprechend hohe Sprachverständlichkeit von >70 % Einsilbersprachverstehen in Ruhe aufwiesen (CI1, CI2, CI4, CI5, CI9, CI15, CI20), zeigten Steigungen zwischen 8 und 24 %/dB<sub>SNR</sub> mit einem Mittelwert von 13 %/dB<sub>SNR</sub>. Ein direkter Vergleich zwischen dem **DiN**-Test und einem Matrix-Satztests wurde im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt, da der Zeit- und Konzentrationsaufwand für die Teilnehmenden das vertretbare Maß überschritten hätten.

Die statistische Analyse der Personen mit einer **CI**-Versorgung ergab im Gegensatz zu den Ergebnissen von Hey et al. (2014) keine Korrelation zwischen der mittleren **SRT** und den Test-Retest-Differenzen ( $R = -0,247$ ;  $p = 0,915$ ). Dennoch fanden sich die größten Test-Retest-Differenzen bei denjenigen Teilnehmenden mit einer relativ hohen **SRT** um +8 dB<sub>SNR</sub>. Es wird daher vermutet, dass sich mit zunehmender Anzahl der Personen mit einer **CI**-Versorgung eine Korrelation zwischen der Test-Retest-Differenz und der **SRT** zeigen. Für eine solche Korrelation spricht zudem der gefundene Zusammenhang zwischen der Steigung der **DF** und dem Mittelwert der Test-Retest-**SRT**, welcher ebenfalls bei Hey et al. (2014) zu finden war. Diese Korrelation müsse nach Hey et al. (2014) bei der Konzeption einer Studie stets berücksichtigt werden.

## 4.2 Klinische und außerklinische Anwendung

Unabhängig ihres Sprachverstehens in Ruhe konnten alle Teilnehmenden nach einer kurzen Einführung den **DiN**-Test eigenständig und innerhalb kurzer Zeit durchführen. Für Personen, die mittels Freiburger Einsilber Test ein Ergebnis im Sättigungsbereich erreichten,

konnten mit der Messung des **DiN**-Tests ein aussagekräftiges Ergebnis ermittelt werden. Dies galt besonders für Teilnehmende, die das Einschlusskriterium für die Messung im Störgeräusch mittels Oldenburger Satztests (70 bis 80 % Einsilbersprachverstehen in Ruhe) nicht erfüllen konnten und eine Erhebung der Sprachverständlichkeit in Störlärm bisher nicht möglich war. Zudem zeigte der **DiN**-Test eine hohe Zuverlässigkeit der Testergebnisse. Die Sensitivität der Ergebnisse und die fehlende Notwendigkeit eines Einschlusskriteriums hinsichtlich des Einsilbersprachverstehens in Ruhe können somit die individuelle, breitgefächerte Sprachverständlichkeit in Störgeräusch besser aufzeigen. Dennoch können die Ergebnisse der **CI**-Gruppe dieser Studie verzerrt sein. Obwohl die Personen mit einer **CI**-Versorgung unabhängig ihres Sprachverstehens einbezogen wurden, waren alle aktiv im Rehabilitationsprozess eingebunden. Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass es postlingual ertaubte Personen mit einer **CI**-Versorgung gibt, die den **DiN**-Test nicht durchführen können.

Ein weiterer Vorteil des **DiN**-Tests ist die intuitive Bedienbarkeit. Zusammen mit dem einfachen und überschaubaren Sprachmaterial erfordert der Test nur sehr wenige kognitive und sprachliche Ressourcen. So ist es bereits nach einer kurzen Einführung möglich, dass der Test eigenständig durchgeführt werden kann. Die Implementierung über ein beliebiges Endgerät mit Touchscreen ermöglicht eine hohe Verfügbarkeit. Diese Vorteile wurden auch von einigen Teilnehmenden erkannt und sie erfragten von sich aus, ob die Test-App bereits für Personen mit einer **CI**-Versorgung öffentlich zur Verfügung stünde. Neben der Möglichkeit, den eigenen Fortschritt und den Rehabilitationserfolg zu Hause überprüfen zu können, wurden besonders die zeitliche und räumliche Flexibilität mit Blick auf familiäre und berufliche Verpflichtungen sehr positiv hervorgehoben.

Eine generelle Bereitschaft zur eigenständigen Überprüfung des individuellen Hör- und Sprachverstehens mittels App konnte bereits von Philips et al. (2018) gezeigt werden. Voraussetzung hierfür sei eine intuitive Handhabung der App. In der Studie von Cullington und Aidi (2017) wurde eine Anwendung des **DiN**-Test in einer künstlichen räumlichen Umgebung untersucht.

Mit ihren Studienergebnissen konnten sie nachweisen, dass mittels app-basierter **DiN**-Testdurchführung innerhalb kurzer Zeit valide Testergebnisse bei gleichzeitiger Reduzierung des Personalaufwands seitens der Klinik bzw. des Rehabilitationszentrums erzielt werden können. Ebenso würden sich Vorteile für die App-Nutzenden zeigen, da diese den Test flexibel von zu Hause durchführen können. Dies ermögliche einen deutlich geringen zeitlichen und organisatorischen Aufwand im Vergleich zur herkömmlichen Überprüfung des Sprachverstehens in der entsprechenden Einrichtung. Zudem könne die kürzere Messdauer einer Ermüdung vorbeugen. Um auch Personen mit subjektiv wenig technischem Geschick oder

Erfahrung diese Art der **DiN**-Testdurchführung ermöglichen zu können, sollte der Test zuvor mindestens einmal begleitet in der Einrichtung geübt werden. Auf diese Weise könne eine korrekte Durchführung und ein sicherer Umgang mit der App gewährleistet werden Cullington und Aidi (2017). Die Vorteile der Zeit- und damit verbundenen Kosteneinsparung eines App-basierten Hörtests – sowohl seitens der App-Nutzenden als auch der Einrichtung – benannten auch de Graaff et al. (2019). Einen weiteren Vorteil bringe zudem die hohe Anzahl an zusätzlichen Testergebnissen, welche ergänzend im weiteren Rehabilitationsverlauf einbezogen werden könnten.

### 4.3 Methodische Aspekte

An das Sprachmaterial, welches für einen Sprachtest verwendet wird, werden gemäß der **ICRA**-Richtlinien bestimmte Anforderungen gestellt (Akeroyd et al. 2015). Neben Aspekten der Sprache allgemein (z. B. Dialektfreiheit, gleichmäßige Betonung, Stimmlage) muss das Sprachmaterial aus genderneutralen Sprachelementen bestehen, bei dem männliche und weibliche Formen gleichermaßen vertreten sein müssen. Ebenso ist zu beachten, dass ein kultureller und historischer Einfluss vermieden wird (regional-typische Worte bzw. Aktualität des Sprachmaterials). Durch die Nutzung von Triplets, die jeweils aus drei Ziffern bestehen, können viele dieser Aspekte inhärent berücksichtigt werden – Ziffern sind eine über Zeitepochen hinweg gleichbleibende Wortgruppe, die aus genderneutralen Elementen besteht. Durch die synthetische Generierung des Sprachmaterials kann eine Vielzahl an Sprecheraspekten bewusst reguliert bzw. ausgeschlossen werden. Zudem ist eine relativ einfache und schnelle Erweiterung des Sprachmaterials sowie die Übertragung des Materials in andere Sprachen möglich.

Die Nutzung von Triplets ermöglicht kurze und konsistente Einheiten, die weder Ressourcen des assoziativen Denkens noch des Langzeitgedächtnisses benötigen. Die hier vorgestellte synthetische Version des deutschen **DiN**-Tests schließt alle Ziffern von 0 bis 9 ein, inklusive der 7 als zweisilbige Ziffer. Zusammen mit der synthetischen Generierung des Sprachmaterials unterscheiden diese zwei Aspekte die hier vorgestellt **DiN**-Testversion von der Implementierung der deutschen **DiN**-Testversion von Buschermöhle et al. (2014). Der Ausschluss von zwei- bzw. mehrsilbigen Ziffern erscheint auf den ersten Blick für bestimmte Sprachen wie Deutsch oder Englisch vertretbar, da das Sprachmaterial lediglich um ein Digit reduziert werden würde. In anderen Sprachen, wie z. B. Russisch oder Spanisch, würde eine Beschränkung auf rein einsilbige (bzw. zwei- oder mehrsilbiger silbige) Zahlen jedoch zum Ausschluss

mehrerer Ziffern führen (Russisch: 1 – adin, 4 – četýrje, 8 – vosem, 9 – djèvjat; Spanisch: 0 – cero, 1 – uno, 4 – cuatro, 5 – cinco, 7 – siete, 8 – ocho, 9 – nueve). Der Einschluss aller Ziffern begünstigt zudem die internationale Vergleichbarkeit des Tests bzw. der Testergebnisse.

Der Umfang von 90 Items (entsprechend 30 Triplets) liegt in einer ähnlichen Größenordnung wie die Itemanzahl anderer etablierter Satztests, wie dem Oldenburger Satztest für Kinder (Steffens und Hacker 2010). Die Test-Retest-Differenz des **DiN**-Tests ist jedoch im Vergleich geringer als bei dem Oldenburger Satztest für Kinder (90 Items pro Testliste) bzw. dem Oldenburger Satztest mit 150 Items pro Testliste (Hey et al. 2014; Müller-Deile et al. 2009). Die Durchführung einer **DiN**-Testliste benötigte etwa zwei bis drei Minuten. Mit einer Gesamt-Testdauer der adaptiven Messung von 5 bis 10 Minuten, inklusive Instruktion und die Retest-Messung, gilt der **DiN**-Test als klinisch anwendbar. Die ursprünglich als Hilfestellung gedachte Wiederholung des ersten Triplets bei steigendem **SNR** bis zur ersten korrekten Wiedergabe wurde im aufgrund der Studienergebnissen modifiziert. Bei einigen Teilnehmenden führte die mehrfache Wiederholung zu einer großen Frustration. Dies war vor allem dann zu beobachten, wenn sie das Triplet als korrekt wahrgenommen empfanden, sie aber weiterhin bspw. 3 und 2 vertauschten und den Fehler nicht selbst korrigieren konnten. Um bei subjektiv schwierigen Start-Triplets eine unnötig häufige Darbietung desselben Triplets zu vermeiden, wurde die maximale Wiederholung des ersten Triplets auf  $n = 5$  gesetzt. Es wurde sich dennoch bewusst entschieden, auch das Starttriplet randomisiert darzubieten und kein Digit für die Startdarbietung auszuschließen.

## KAPITEL 5

# Schlussfolgerung und Ausblick

Der **Digits-in-Noise**-Test ist ein zeitsparender und zuverlässiger Test für Sprachmessungen im Rauschen. Er kann unabhängig des individuellen Sprachverstehens und damit auch bei Personen mit einer **CI**-Versorgung angewendet werden. Ein weiterer Vorteil liegt in der direkten Einspeisung des Signals in das Cochlea-Implantat. Auf diese Weise kann eine monaurale Messung garantiert werden, ohne das Gegenohr ggf. verstöpseln oder vertäuben zu müssen. Es wird zudem die Möglichkeit des drahtlosen Einspeisens des Signals für die neueren bzw. folgenden **CI**-Prozessoren angestrebt.

Die verwendete Anzahl von 30 Triplets führte zu einer ausreichend geringen Test-Retest-Differenz. Die benötigte Gesamttestdauer für zwei Testlisten wird mit 5 bis 10 Minuten als kurz angesehen – bei gleichzeitig geringen Anforderungen an die Testumgebung. Die gute Reproduzierbarkeit des Ergebnisses lässt zusätzliche Verbesserungen hinsichtlich der benötigten Zeit erwarten, wenn aufgrund von bereits erfolgten **DiN**-Tests der Baseline-SNR individuell vorausgewählt werden könnte. Personen mit einer **CI**-Versorgung oder anderen Höreinschränkungen könnten somit den Test leicht in ihren Alltag integrieren.

Der **DiN**-Test stellt eine wertvolle Ergänzung der bisherigen Testbatterie für die Sprachaudiometrie an Personen mit Normakusis sowie mit einer **CI**-Versorgung dar. Die Durchführung kann unabhängig von dem individuellen Sprachverstehen in Ruhe erfolgen und für Personen, die in den herkömmlichen Sprachtests in Ruhe Ergebnisse im Sättigungsbereich erzielen, weiter aufgeschlüsselt werden. Somit kann auch für Personen, die mit Hilfe des Freiburger Einsilber Tests nicht ausreichend differenzierbar sind, eine Entwicklung in ihrem Hörvermögen festgestellt und klinisch belegt werden.

Im aktuellen Weißbuch (DGHNO KHC e.V. 2018a) wird von einem „**CI**-Register“ gesprochen, welches von der implantierenden Klinik geführt werden und auch das Sprachverstehen in Störgeräusch erfassen soll. Der **DiN**-Test kann einen solchen Sprachtest bilden, der für einen Großteil der Personen mit einer **CI**-Versorgung bereits kurz- bzw. mittelfristig nach der Erst-anpassung valide Daten liefern kann. Gerade mit Blick auf die Corona-Pandemie 2020 und die

ohnehin steigende Nachfrage an eHealth-Angeboten könnte die „**DiN**-Testapp“ eine Schnittstelle zwischen der Person mit einer **CI**-Versorgung und dem Rehabilitationszentrum bzw. der Klinik darstellen. Die App-Anwendung bietet hier eine Möglichkeit, den individuellen Hörstatus eigenständig und ohne einen erforderlichen Besuch im Rehabilitationszentrum oder der entsprechenden Klinik zur Nutzung der zertifizierten Hörkabinen zu erfassen. Auf diese Weise kann auf Grundlage von individuellen und aktuellen Messdaten gemeinsam entschieden werden, ob eine erneute Anpassung bzw. ein Besuch in der entsprechenden Einrichtung notwendig ist. Ebenso kann der zeitliche und organisatorische Aufwand für Personen reduziert werden, die subjektiv ein zufriedenstellendes Hör- und Sprachverstehen im Alltag sowie gute Messergebnisse mit dem **DiN**-Test erreichen. Gleichzeitig kann Personen, bei denen eine **CI**-Anpassung aufwändiger ist, mehr zeitliche Kapazität zur Verfügung gestellt werden.

Der **DiN**-Test kann neben reinen postoperativen Anwendung bei Personen mit einer **CI**-Versorgung auch bei anderen funktionellen Hörstörungen prä- und postoperativ oder bei der Überprüfung anderer Hörimplantate bzw. konventioneller Hörgeräte benutzt werden. Aufgrund der intuitiven Anwendung und des einfachen Sprachmaterials ist der Test möglicherweise auch für Kinder oder Personen mit einer leichten kognitiven Beeinträchtigung geeignet.

Ursprünglich als einfacher Screeningtest entwickelt, stellt der hier untersuchte synthetische **DiN**-Test aufgrund seiner speziellen Eigenschaften eine wertvolle Ergänzung des sprachaudiometrischen Methodeninventars dar. Das mögliche Einsatzgebiet kann sowohl die präoperative als auch postoperative Erfassung des individuellen (versorgten) Hörstatus bzw. die (selbstständige) Langzeitkontrolle von Personen mit einer **CI**-Versorgung umfassen.

# Literaturverzeichnis

- Battmer, R.-D. (2009). „25 Jahre Cochlear-Implantat in Deutschland — eine Erfolgsgeschichte mit Perspektiven: Indikationserweiterung, Reliabilität der Systeme“. In: *Cochlear Implant heute*. Hrsg. von A. Ernst, R.-D. Battmer und I. Todt. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 1–9. ISBN: 978-3-540-88236-7. DOI: 10.1007/978-3-540-88236-7\_1.
- Beutner, D., W. Delb, H. Frenzel, U. Hoppe, K. B. Hüttenbrink, R. Mlynski, A. Limberger, R. Schönweiler, B. Schwab, I. Todt, M. Walger, T. Wesarg, T. Zahnert, R. Zeh, ADANO, DGH-NO, DGA, Deutsche Cochlea Implantat Gesellschaft DCIG und DGPP (1. Sep. 2018). „Leitlinie „Implantierbare Hörgeräte“ – Kurzversion“. In: *HNO* 66.9, S. 654–659. ISSN: 1433-0458. DOI: 10.1007/s00106-018-0531-4. URL: <https://doi.org/10.1007/s00106-018-0531-4> (besucht am 06. 11. 2020).
- Bland, J. M. und D. G. Altman (1. Aug. 2010). „Statistical Methods for Assessing Agreement Between the Methods of Clinical Measurement“. In: *International Journal of Nursing Studies* 47.8, S. 931–936. ISSN: 0020-7489. DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2009.10.001. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020748909003204> (besucht am 06. 11. 2020).
- Busch, T., F. Vanpoucke und A. van Wieringen (2017). „Auditory Environment Across the Life Span of Cochlear Implant Users: Insights from Data Logging“. In: *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 60, S. 1362–1377.
- Buschermöhle, M., K. Wagener, D. Berg, M. Meis und B. Kollmeier (1. Jan. 2014). „The German Digit Triplets Test (Part i): Implementations for Telephone, Internet and Mobile Devices“. In: *Zeitschrift Für Audiologie* 53, S. 139–145.
- Clark, G. (2015). „The Multi-Channel Cochlear Implant: Multi-Disciplinary Development of Electrical Stimulation of the Cochlea and the Resulting Clinical Benefit.“ In: *Hearing Research* 322, S. 4–13.
- Clark, G., R. Black, D. Dewhurst, I. Forster, J. Patrick und Y. Tong (15. Dez. 1977). „A Multiple-Electrode Hearing Prosthesis for Cochlea Implantation in Deaf Patients“. In: *Medical Progress Through Technology* 5.3, S. 127–140.

- Cullington, H. und T. Aidi (2017). „Is the Digit Triplet Test an Effective and Acceptable Way to Assess Speech Recognition in Adults Using Cochlear Implants in a Home Environment?“ In: *Cochlear Implants International* 18, S. 1–9. DOI: 10.1080/14670100.2016.1273435.
- De Graaff, F., E. Huysmans, B. Philips, P. Merkus, S. T. Goverts, S. E. Kramer und C. Smits (2019). „Our Experience with Home Self-Assessment of Speech Recognition in the Care Pathway of 10 Newly Implanted Adult Cochlear Implant Users“. In: *Clinical Otolaryngology* 44.3, S. 446–451. ISSN: 1749-4486. DOI: 10.1111/coa.13307. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/coa.13307> (besucht am 06. 11. 2020).
- Deuflhard, P. und A. Hohmann (2002). *Numerische Mathematik I. Eine Algorithmisch Orientierte Einführung*. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. De Gruyter.
- Deutsche Gesellschaft für Audiologie (DGA) e.V., Hrsg. (Nov. 2015). *Zertifizierung von Audiologischen Zentren Durch Die Deutsche Gesellschaft Für Audiologie*. URL: [https://www.dga-ev.com/fileadmin/daten/downloads/Audiologische\\_Zentren\\_Konzept\\_2016\\_final.pdf](https://www.dga-ev.com/fileadmin/daten/downloads/Audiologische_Zentren_Konzept_2016_final.pdf).
- Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie (DGHNO KHC) e.V., Hrsg. (2018a). *Weißbuch Cochlea-Implantat(CI)-Versorgung: Empfehlungen Zur Struktur, Organisation, Ausstattung, Qualifikation Und Qualitätssicherung in Der Versorgung von Patienten Mit Einem Cochlea-Implantat in Der Bundesrepublik Deutschland*. URL: <https://cdn.hno.org/media/PDF/ci-weissbuch-und-register-dghno-1-auflage-stand-04-2018.pdf>.
- Hrsg. (2018b). *Weißbuch der DGHNO-KHC setzt Behandlungs- und Qualitätsstandards für die Versorgung mit Cochlea-Implantaten, Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V., Pressemitteilung vom 21.06.2018*. URL: <https://www.lifepre.de/inaktiv/deutsche-gesellschaft-fuer-hals-nasen-ohren-heilkunde-kopf-und-hals-chirurgie-ev/Weissbuch-der-DGHNO-KHC-setzt-Behandlungs-und-Qualitätsstandards-fuer-die-Versorgung-mit-Cochlea-Implantaten/boxid/711456> (besucht am 06. 11. 2020).
- Hrsg. (Okt. 2020). *Cochlea-Implantat Versorgung : S2k-Leitlinie 017/071 Der Deutschen Gesellschaft Für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- Und Hals-Chirurgie e. V. (DGHNO KHC)*. DIN EN ISO 8253-3:2012-08 (2012). *Akustik - Audiometrische Prüfverfahren - Teil 3: Sprachaudiometrie*.
- Hagermann, B. (1982). „Sentences for Testing Speech Intelligibility in Noise“. In: *Scandinavian Audiology* 11.2, S. 79–87. DOI: 10.3109/01050398209076203.
- Hahlbrock, K.-H. (1. Jan. 1957). *Sprachaudiometrie - Grundlagen Und Praktische Anwendung Einer Sprachaudiometrie Für Das Deutsche Sprachgebiet*. Thieme.
- Hey, M., T. Hocke und P. Ambrosch (2017). „Sprachaudiometrie Und Datalogging Bei CI-Patienten. Überlegungen Zu Geeigneten Sprachpegeln“. In: *Springer Medizin Verlag GmbH*. DOI: 10.1007/s00106-017-0418-9. URL: <https://doi.org/10.1007/s00106-017-0418-9>.

- Hochmair, I., P. Nopp, C. Jolly, M. Schmidt, H. Schöber, C. Garnham und C. Anderson (2006). „Med-El Cochlear Implants: State of the Art and a Glimpse into the Future.“ In: *Trends in Amplification* 10.4, S. 201–219.
- Hochmair-Desoyer, I., E. Schulz, L. Moser und M. Schmidt (1997). „The HSM Sentence Test as a Tool for Evaluating the Speech Understanding in Noise of Cochlear Implant Users“. In: *The Journal of the Acoustical Society of America* 18 (6 Suppl), S83.
- Hoffmann, H., A. von Lüpke und J. H. Maue (2003). *0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel. Einführung in Die Grundbegriffe Und Die Quantitative Erfassung Des Lärms*. Hrsg. von B. I. für Arbeitsschutz – BIA. 8. aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag. ISBN: 3 503 07470 8.
- Hoppe, U., T. Hocke, A. Hast und H. Iro (2019). „Maximum Preimplantation Monosyllabic Score as Predictor of Cochlear Implant Outcome“. In: *HNO* 67 (Suppl 2), S. 62–68. DOI: 10.1007/s00106-019-0648-0.
- Kollmeier, B. und M. Wesselkamp (1997). „Development and Evaluation of a German Sentence Test for Objective and Subjective Speech Intelligibility Assessment“. In: *The Journal of the Acoustical Society of America* 102.4, S. 2412–2421. DOI: 10.1121/1.419624.
- Kropp, M. H., T. Hocke, P. Mir-Salim und A. Müller (2020). „Evaluation of a Synthetic Version of the Digits-in-Noise Test and Its Characteristics in CI Recipients“. In: *International Journal of Audiology*. DOI: 10.1080/14992027.2020.1839678. URL: <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1839678>.
- Lenarz, T. (19. Feb. 2018). „Cochlear Implant – State of the Art“. In: *GMS Current Topics in Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery* 16. ISSN: 1865-1011. DOI: 10.3205/cto000143. pmid: 29503669. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5818683/> (besucht am 06. 11. 2020).
- Müller, A. und T. Oberhoffner (1. Sep. 2016). „Aufbau Und Funktion Eines Cochlea-Implantat-Systems“. In: *Hörakustik. Cochlea-Implantat Special*. Hrsg. von M. Hey, S. 11–15. ISBN: 978-3-941146-63-1.
- Müller-Deile, J., T. Kortmann, U. Hoppe, H. Hessel und A. Morsnowski (2009). „Verbesserung Der Sprachverständlichkeit Durch Neuen Cochlear-Implant-Sprachprozessor“. In: *HNO* 57, S. 567–574. DOI: 10.1007/s00106-008-1781-3.
- Oberhoffner, T., U. Hoppe, M. Hey, D. Hecker, H. Bagus, P. Voigt, S. Schick Tanz, A. Braun und T. Hocke (2018). „Multizentrische Analyse Des Nutzerverhaltens von Cochlea-Implantat-Trägern“. In: *Laryngo-Rhino-Otologie* 95.05, S. 313–320. DOI: 10.1055/a-0574-2569.
- Philips, B., C. Smits, P. J. Govaerts, I. Doorn und F. Vanpoucke (2018). „Empowering Senior Cochlear Implant Users at Home via a Tablet Computer Application“. In: *American Journal of Audiology* 3S.27, S. 417–430. URL: [https://doi.org/10.1044/2018\\_AJA-IMIA3-18-0014](https://doi.org/10.1044/2018_AJA-IMIA3-18-0014) (besucht am 06. 11. 2020).

- Schmidt, M., I. Hochmair-Desoyer, E. Schulz und L. Moser (1997). „Der HSM-Satztest. Fortschritte Der Akustik.“ In: *DAGA*, S. 93–94.
- Smits, C. (2016). „Comment on ‘International Collegium of Rehabilitative Audiology (ICRA) Recommendations for the Construction of Multilingual Speech Tests’, by Akeroyd et Al.“ In: *International Journal of Audiology* 55.4, S. 268–269. DOI: 10.3109/14992027.2015.1131339.
- Smits, C., S. T. Goverts und J. M. Festen (2013). „The Digits-in-Noise Test: Assessing Auditory Speech Recognition Abilities in Noise.“ In: *The Journal of the Acoustical Society of America* 133.3, S. 1693–1706. DOI: 10.1121/1.4789933.
- Smits, C., T. S. Kapteyn und T. Houtgast (2004). „Development and Validation of an Automatic Speech-in-Noise Screening Test by Telephone“. In: *International Journal of Audiology* 43.1, S. 15–18. DOI: 10.1080/14992020400050004. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14992020400050004> (besucht am 06. 11. 2020).
- Steffens, T. und M. Hacker (1. Juni 2010). „Paediatric Cochlear Implantation Criteria Based on Speech Reception in Noise“. In: *Cochlear implants international* 11 Suppl 1, S. 217–20. DOI: 10.1179/146701010X12671177819028.
- Stöver, T., M. Leinung und A. Loth (2020). „Welche Qualität Macht Den Unterschied in Der Cochlea-Implantat-Versorgung?“ In: *Laryngo-Rhino-Otologie* 99.01, S. 1–30. DOI: 10.1055/a-1019-9381. URL: [https://www.researchgate.net/publication/339981340\\_Welche\\_Qualitat\\_macht\\_den\\_Unterschied\\_in\\_der\\_Cochlea-Implantat-Versorgung](https://www.researchgate.net/publication/339981340_Welche_Qualitat_macht_den_Unterschied_in_der_Cochlea-Implantat-Versorgung) (besucht am 06. 11. 2020).
- Von Ihlberg, C. A., U. Baumann, J. Kiefer, J. Tillein und O. F. Anduka (2011). „Electric-Acoustic Stimulation of the Auditory System: A Review of the First Decade.“ In: *Audiology and Neuro-Otology* 16.2, S. 1–30.
- Wagener, K. (1999). „Entwicklung Und Evaluation Eines Satztests Für Die Deutsche Sprache III: Evaluation Des Oldenburger Satztests.“ In: *Zeitschrift Für Audiologie* 3.38, S. 86–95.
- Wesarg, T., B. Voss, F. Hassepass, R. Beck, A. Aschendorff, R. Laszig und S. Arndt (Apr. 2018). „Speech Perception in Quiet and Noise With an Off the Ear CI Processor Enabling Adaptive Microphone Directionality“. In: *Otology & Neurotology* 39.4, e240. ISSN: 1531-7129. DOI: 10.1097/MAO.0000000000001749. URL: [https://journals.lww.com/otology-neurotology/Abstract/2018/04000/Speech\\_Perception\\_in\\_Quiet\\_and\\_Noise\\_With\\_an\\_Off.9.aspx](https://journals.lww.com/otology-neurotology/Abstract/2018/04000/Speech_Perception_in_Quiet_and_Noise_With_an_Off.9.aspx) (besucht am 07. 11. 2020).
- Wimmer, W., M. Caversaccio und M. Kompis (Aug. 2015). „Speech Intelligibility in Noise With a Single-Unit Cochlear Implant Audio Processor“. In: *Otology & Neurotology* 36.7, S. 1197–1202. ISSN: 1531-7129. DOI: 10.1097/MAO.0000000000000775. URL: [https://journals.lww.com/otology-neurotology/Abstract/2015/08000/Speech\\_Intelligibility\\_in\\_Noise\\_With\\_a\\_Single\\_Unit.11.aspx](https://journals.lww.com/otology-neurotology/Abstract/2015/08000/Speech_Intelligibility_in_Noise_With_a_Single_Unit.11.aspx) (besucht am 07. 11. 2020).

Zöllner, F. (1957). In: *Sprachaudiometrie: Grundlagen Und Praktische Anwendung Einer Sprachaudiometrie Für Das Deutsche Sprachgebiet*. Hrsg. von K.-H. Hahlbrock. Stuttgart: Thieme.

## ANHANG A

# Eidesstattliche Versicherung

Ich, Miriam Hannah Kropp versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Validierung eines neuen Sprachtests im Rauschen – Der synthetische Digits-in-Noise-Test und die Anwendbarkeit bei Personen mit einer Cochlea-Implantat-Versorgung (engl.: Validation of a new Speech in Noise Test – The synthetic Digits-in-Noise-Test and the Applicability in Persons with a Cochlear Implant) 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 Autor\_innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](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.

Ort, Datum

Unterschrift

## ANHANG B

# Anteilerklärung

Miriam Hannah Kropp hatte folgenden Anteil an der folgenden Publikation:

Publikation 1: Kropp, M. H., T. Hocke, P. Mir-Salim und A. Müller, Evaluation of a Synthetic Version of the Digits-in-Noise Test and Its Characteristics in CI Recipients, International Journal of Audiology, 2020

Beitrag im Einzelnen:

- Mitarbeit bei der Erstellung des Ethik-Antrages und der Studienentwicklung
- Probandenakquise
- Durchführung audiometrischer Messungen innerhalb der Pilot- und Hauptstudie (Ton-schwelle und Sprachverstehen der Personen mit normalem Gehör sowie Messung des Digits-in-Noise-Test bei Personen mit normalem Gehör und bei Personen mit einer CI-Versorgung)
- Hauptanteil bei der statistischen Auswertung (Grundlage für die Abbildungen 3.2, 3.3, 3.4, sowie 3,7 und die Tabelle 3.1)
- Hauptanteil bei der Erstellung des zur Publikation führenden Manuskripts
- Bearbeitung des Reviewverfahrens

Unterschrift, Datum und Stempel des/der erstbetreuenden Hochschullehrers/in

Unterschrift der Doktorandin

## ANHANG C

# Auszug der Journal Summary List

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2018** Selected Editions: SCIE,SSCI  
 Selected Categories: **“AUDIOLOGY and SPEECH-LANGUAGE PATHOLOGY”**  
 Selected Category Scheme: WoS

**Gesamtanzahl: 25 Journale**

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	Trends in Hearing	139	3.024	0.000660
2	HEARING RESEARCH	8,833	2.906	0.011270
3	EAR AND HEARING	4,791	2.842	0.007950
4	JOURNAL OF FLUENCY DISORDERS	968	2.714	0.001010
5	BRAIN AND LANGUAGE	6,186	2.439	0.009710
6	Augmentative and Alternative Communication	806	2.388	0.000860
7	INTERNATIONAL JOURNAL OF LANGUAGE & COMMUNICATION DISORDERS	1,745	2.195	0.003210
8	Language Cognition and Neuroscience	413	1.852	0.001940
9	Noise & Health	1,147	1.798	0.001920
10	AUDIOLOGY AND NEURO-OTOLOGY	1,659	1.791	0.002780
11	JOURNAL OF SPEECH LANGUAGE AND HEARING RESEARCH	6,675	1.771	0.008890
12	INTERNATIONAL JOURNAL OF AUDIOLOGY	2,940	1.733	0.005150
13	JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA	43,266	1.547	0.031740
14	LANGUAGE AND SPEECH	1,242	1.471	0.001280
15	JOURNAL OF COMMUNICATION DISORDERS	1,674	1.348	0.002200
16	Journal of the American Academy of Audiology	1,893	1.208	0.002840
17	LANGUAGE SPEECH AND HEARING SERVICES IN SCHOOLS	1,305	1.193	0.001530
18	International Journal of Speech-Language Pathology	675	1.179	0.001960

ANHANG C AUSZUG DER JOURNAL SUMMARY LIST

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
19	AMERICAN JOURNAL OF SPEECH-LANGUAGE PATHOLOGY	1,680	1.171	0.002520
20	American Journal of Audiology	648	1.076	0.001690
21	SEMINARS IN SPEECH AND LANGUAGE	526	0.964	0.000940
22	CLINICAL LINGUISTICS & PHONETICS	1,039	0.893	0.001480
23	Logopedics Phoniatrics Vocology	400	0.822	0.000620
24	PHONETICA	597	0.458	0.000440
25	FOLIA PHONIATRICA ET LOGOPAEDICA	857	0.417	0.000880

Copyright © 2019 Clarivate Analytics

## **ANHANG D**

Link zur Publikation: <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1839678>















## **ANHANG E**

# **Lebenslauf**

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

## ANHANG F

# Publikationsverzeichnis

### Originalarbeiten (Peer-Reviewed)

- Agha-Mir-Salim, P., M. H. Kropp und A. Müller (2021 - in print). „Endoskopische Ohrchirurgie in Deutschland - Eine Umfrage Zur Situation Im Internationalen Vergleich“. In: *HNO*.
- Fröhlich, L., T. Rahne, S. Plontke, T. Oberhoffner, R. Dahl, R. Mlynski, O. Dziemba, A. Aristeidou, M. Gadyuchko, S. Koscielny, S. Hoth, M. Kropp, P. Mir-Salim und A. Müller (2020 - Online ahead of print). „Intraoperative Quantification of Floating Mass Transducer Coupling Quality in Active Middle Ear Implants: A Multicenter Study“. In: *European archives of Otorhinolaryngology*, S. 1 –12. DOI: 10.1007/s00405-020-06313-z.
- Kropp, M. H., T. Hocke, P. Mir-Salim und A. Müller (2020). „Evaluation of a Synthetic Version of the Digits-in-Noise Test and Its Characteristics in CI Recipients“. In: *International Journal of Audiology*. DOI: 10.1080/14992027.2020.1839678. URL: <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1839678>.
- Müller, A., M. H. Kropp, A. Aristeidou und O. Dziemba (2020 - Online ahead of print). „Intraoperatives Tip-Foldover-Screening Mittels Spread of Excitation Messungen“. In: *Zeitschrift für medizinische Physik*, S. 1 –13. DOI: 10.1016/j.zemedi.2020.07.002.

### Kongress- und Tagungsbeiträge

- Dziemba, O. C., M. H. Kropp, M. Walger und A. Müller (2019). „Qualitative Funktionskontrolle von Einsteckhörern in Der Klinischen Praxis“. In: *41. Jahrestagung der Arbeitsgruppe Elektrische Reaktionsaudiometrie (ERA)*, S. 9. URL: [http://ag-era.bplaced.net/wordpress/wp-content/uploads/2020/02/AG-%20ERA\\_Programmheft\\_Offizielle\\_Version\\_mit\\_Gruppenfoto\\_am-Ende.pdf](http://ag-era.bplaced.net/wordpress/wp-content/uploads/2020/02/AG-%20ERA_Programmheft_Offizielle_Version_mit_Gruppenfoto_am-Ende.pdf).

- Helbig, R., N. Zellhuber, M. H. Kropp, P. Mir-Salim, M. Bloching, T. Hocke und A. Müller (2019). „Vergleich Intraoperativer ECAP-Messungen Bei CI Mit Präoperativen CT/MRT-Befunden“. In: *50. Jahrestagung Der Deutschen Gesellschaft Für Medizinische Physik*. Hrsg. von C. Gromoll und N. Wegner. Stuttgart. ISBN: ISBN 978-3-948023-08-9. URL: <https://cdn.dgmp.de/media/document/3147/DGMP2019-Abstractband.pdf>.
- Kropp, M. H. (3. März 2021). „Der Digits-in-Noise (DiN) Im Störschall“ (Vortrag im Rahmen des Cochlear Audiologie Kolloquium Ost (Webinar)).
- Kropp, M. H., T. Hocke und P. Mir-Salim (2020). „Entwicklung Und Evaluierung Eines Intraoperativen Screenings Auf Tip Fold-Over Des CI-Elektroden-Trägers Mittels Spread-of-Excitation-Messungen.“ In: *23. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie*. DOI: 10.3205/20DGA127. URL: <https://www.egms.de/static/de/meetings/dga2020/20dga127.shtml>.
- Kropp, M. H., T. Hocke, P. Mir-Salim und A. Müller (2020). „Entwicklung Und Validierung Des Ziffern-Tripel-Tests Für Normalhörende Und CI-Träger“. In: *23. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie*. DOI: 10.3205/20DGA047. URL: <https://www.egms.de/static/de/meetings/dga2020/20dga127.shtml>.
- Kropp, M. H., D. Moeller, D. Oesten, V. Lindner und K. Plotz (2014). „Untersuchung Signifikanter Unterschiede Der Testergebnisse Des WISC-IV® Und SON-R 6-40® in Abhängigkeit Verschiedener Sprachstatus an Drei Probandengruppen Im Kindesalter“. In: *17. Jahrestagung Der Deutschen Gesellschaft Für Audiologie*. Oldenburg. ISBN: ISBN 978-3-939296-06-5.
- Kropp, M. H., A. Müller, A. Aristidou, H. Kaftan, P. Mir-Salim und O. C. Dziemba (2019). „Entwicklung Und Evaluierung Eines Intraoperativen Screenings Auf Tip Fold-over Des CI-Elektroden-Trägers Mittels Spread Of Excitation Messungen“. In: *50. Jahrestagung Der Deutschen Gesellschaft Für Medizinische Physik*. Hrsg. von C. Gromoll und N. Wegner. Stuttgart, S. 88. ISBN: 978-3-948023-08-9. URL: <https://cdn.dgmp.de/media/document/3147/DGMP2019-Abstractband.pdf>.
- Kropp, M. H., S. Seybold, U. Lemke und F. Koppelin (2017). „Kommunikationswahrnehmung Aus Der Perspektive Der Person Mit Hörbeeinträchtigung Und Ihren Angehörigen“. In: *20. Jahrestagung Der Deutschen Gesellschaft Für Audiologie*. Aalen. ISBN: 978-3-9813141-7-5.
- Kropp, M. H., S. Seybold, U. Lemke und F. Koppelin (2018). „Belastungserleben Und Copingstrategien in Alltäglichen Situationenaus Zwei Perspektiven“. In: *21. Jahrestagung Der Deutschen Gesellschaft Für Audiologie*. Halle (Saale). URL: <https://www.dga-ev.com/fileadmin/dga2018/>.
- Müller, A., M. H. Kropp, T. Hocke und P. Mir-Salim (2020). „Der Digit Triple Test (DTT) Im Störschall“. In: *51. Jahrestagung Der Deutschen Gesellschaft Für Medizinische Physik*. Hrsg. von U. Wolf und B. Sattler, S. 74. ISBN: 978-3-948023-10-2. URL: [https://www.dgmp-kongress.de/fileadmin/\\_newsletter/DGMP2020\\_Abstractband.pdf](https://www.dgmp-kongress.de/fileadmin/_newsletter/DGMP2020_Abstractband.pdf).

- Müller, A., M. H. Kropp, P. Mir-Salim und M. Walger (2019). „Klinik Und Diagnostik Der Auditorischen Synaptopathie/Neuropathie“. In: *50. Jahrestagung Der Deutschen Gesellschaft Für Medizinische Physik*. Hrsg. von C. Gromoll und N. Wegner. Stuttgart, S. 91. ISBN: 978-3-948023-08-9. URL: <https://cdn.dgmp.de/media/document/3147/DGMP2019-Abstractband.pdf>.
- Müller, A., M. H. Kropp und M. Walger (2019). „CI-Indikation Bei Kindern Mit Einseitiger Taubheit Bei Auditorischer Synaptopathie/Neuropathie? - Zwei Fallbeispiele“. In: *41. Jahrestagung der Arbeitsgruppe Elektrische Reaktionsaudiometrie (ERA)*, S. 13. URL: [http://ag-era.bplaced.net/wordpress/wp-%20content/uploads/2020/02/AG-ERA\\_Programmheft\\_Offizielle\\_Version\\_mit\\_Gruppenfoto\\_am-Ende.pdf](http://ag-era.bplaced.net/wordpress/wp-%20content/uploads/2020/02/AG-ERA_Programmheft_Offizielle_Version_mit_Gruppenfoto_am-Ende.pdf).

## Sonstige

- Kropp, M. H. (20. Jan. 2021). „Kategorisierung Und Einteilung Der Hörschwelle Sowie Grenzen Der Beurteilung“. Vortrag im Rahmen eines Webinars der Deutschen Gesellschaft für Audiologie (DGA) sowie der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik (DGMP). Praxis Der Tonschwellenaudiometrie.
- Kropp, M. H. und A. Müller (2021 - in press). „Audiologie Auf Der e.DGMP“. In: *Zeitschrift für Audiologie*.
- Müller, A. und M. H. Kropp (2020). „Porträt Des Hörzentrums Berlin Am Vivantes Klinikum Im Friedrichshain“. In: *Zeitschrift für Audiologie* 59.2, S. 76 –77.

# Danksagung

Bei der Erstellung der Promotionsarbeit und der dazugehörigen Publikation habe ich von mehreren Seiten wertvolle Unterstützung erhalten, für die mich bedanken möchte. An erster Stelle möchte ich dabei die Studienteilnehmenden nennen – ohne sie wäre die Datenerhebung nicht möglich gewesen. Neben viel Konzentration bei den Studienmessungen habe ich von ihnen positives Feedback und motivierende Worte erhalten.

Mein Dank gilt ebenso meinem Erstbetreuer Priv. Doz. Dr. med. Parwis Agha-Mir-Salim. Er hat mir die Möglichkeit geboten, eine Dissertation anfertigen zu können und stand mir bei Fragen jederzeit zur Seite. Zudem hat er mich mit hilfreichen Anmerkungen sowohl bei der Erstellung der Publikation als auch des Manteltextes unterstützt.

Mein Zweitbetreuer Dr.-Ing. Alexander Müller war mir besonders bei der Erstellung des Ethikantrages eine große Stütze und ein wichtiger Ansprechpartner bei fachlichen und technischen Fragen. Er stand mir sowohl bei der Erstellung der Publikation und ihres Review-Verfahrens als auch bei der Anfertigung des Manteltextes immer hilfreich zur Seite.

Große Unterstützung habe ich außerdem von Dr. rer. nat. Thomas Hocke der Firma Cochlear™ erhalten. Neben Verstärkung bei der Veröffentlichung der Publikation und der Bearbeitung des Reviews, konnte ich vor allem bei Fragen zur Auswertung und der graphischen Darstellung auf ihn zählen. Darüber hinaus danke ich der Firma Cochlear™, die mir den Digits-in-Noise-Test samt Testplattform und Messprozessor zur Verfügung gestellt hat.

Die Erfassung des Sprachverstehens in Ruhe der Personen mit einer CI-Versorgung fand im Rahmen der Routinemessungen des Hörzentrums Berlin statt. Ich möchte mich daher bei den Mitarbeiterinnen des HZB danken, die mit ihrer Arbeit ebenfalls einen wichtigen Teil zur Datengrundlage dieser Dissertation beigetragen haben.

Zum Schluss möchte ich mich bei Jan Willhaus für Korrekturen – in der deutschen und englischen Sprache – und seine Hilfe bei der Formatierung bedanken. Danke für deine Zeit und deine Worte, die mich immer wieder aufgemuntert und motiviert haben.