



Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Konzeption und Analyse von Sprachverständlichkeitstests bei Normalhörenden und Cochlea-Implantat-Trägern

Stefanie Annemarie Keller

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs genehmigten Dissertation.

Vorsitzende/-r: Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

Prüfende/-r der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Werner Hemmert
2. apl. Prof. Dr.-Ing. Hugo Fastl

Die Dissertation wurde am 10.04.2017 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik am 24.07.2017 angenommen.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
BIOANALOGUE INFORMATIONSVERARBEITUNG

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs
(Dr.-Ing.)

**Konzeption und Analyse von
Sprachverständlichkeitstests bei Normalhörenden
und Cochlea-Implantat-Trägern**

vorgelegt von
Stefanie Annemarie Keller

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Überblick	4
2	Messung der Sprachverständlichkeit	5
2.1	Terminologie	5
2.2	Methodik	6
2.2.1	Klassische Methode - Konstante Stimuli Methode	7
2.2.2	Adaptive Methoden	8
3	Sprachliche Einheiten (in Sprachverständlichkeitstests)	11
3.1	Terminologie	11
3.1.1	Sprachliche Einheiten (Silbe, Wort, Satz)	11
3.1.2	Syntax und Semantik	17
	Aufbau des semantischen Systems	17
	Unterscheidung syntaktischer Kategorien / Wortarten	19
	Zusammenhang zwischen semantischen und syntaktischen Unterscheidungen	20
3.2	Modelltheoretische Annahmen zur Sprachverständlichkeit	21
3.2.1	Phonetisch-phonologisches Modell: Das Kohortenmodell	21
3.2.2	Psycholinguistisches Modell: Das Logogen-Modell	22
3.3	Wiedergabe von Wörtern in Listen und Sätzen	23
4	Sprachverständlichkeitstests im Deutschen	29
4.1	Sprachverständlichkeitstests und deren Konzeption	29
4.1.1	Möglichkeiten zur Ermittlung der Wort- und Satzverständ- lichkeit im Deutschen	29
4.1.2	Korpora für die Auswahl der Sprachstimuli der Sprachver- ständlichkeitstests	31
4.2	Auswahl von Stimulusmaterial und Sprachverständlichkeitstests für weiterführende Experimente	37

4.3	Linguistische und datenbankbasierte Analyse des OLSA-Wortschatzes	39
4.3.1	Analyse von Silbenstruktur und Betonungsmuster der Sätze	39
4.3.2	Analyse der syntaktischen Struktur	43
4.3.3	Analyse der semantischen Struktur	44
5	Einflussfaktoren auf die Satzverständlichkeit im Störgeräusch	49
5.1	Satzverständlichkeit bei verschiedenen Bedingungen	49
5.2	Untersuchung der Beteiligung der Wortverständlichkeit an der Satzverständlichkeit	51
5.3	Einfluss der Wortpegel auf die Verständlichkeit	56
5.4	Zusammenfassung	60
6	Messung der Wortverständlichkeit im Störgeräusch	61
6.1	Methode	61
6.1.1	Stimulusauswahl und -generierung	61
6.1.2	Durchführung	62
6.1.3	Datenanalyse	64
6.2	Ergebnisse	64
6.2.1	Bestimmung und Analyse der psychometrischen Funktionen der Wortverständlichkeit im Störgeräusch	65
6.2.2	Analyse der relativen Wortverständlichkeit	70
6.2.3	Auswertung nach phonetischen Aspekten	75
6.2.4	Auswertung nach semantischen Aspekten	81
6.3	Diskussion	83
6.3.1	Wortverständlichkeitsschwellen und Steigungen	83
6.3.2	Relative Wortverständlichkeit	84
6.3.3	Unterschiede zwischen OLSA und OlakS-Material	85
6.3.4	Phonetische Aspekte	85
6.3.5	Semantische Aspekte	89
7	Messung der Wortverständlichkeit in Fünf-Wort-Listen	93
7.1	Motivation	93
7.2	Methode	94
7.2.1	Stimulusgenerierung	94
7.2.2	Durchführung	95
7.2.3	Datenanalyse	96
7.3	Ergebnisse	96
7.3.1	Anteil korrekter Gesamtantworten	96
7.3.2	Rangfolge der einzelnen Wörter	98
7.3.3	Untersuchung des phonetischen Einflusses	102
7.3.4	Untersuchung des semantischen Einflusses	105

7.3.5	Anteil korrekter Antworten pro Position	107
7.3.6	Primär- / Rezenz-Effekt	107
7.4	Diskussion	116
8	Messung der Wortverständlichkeit in Fünf-Wort-Sätzen in unterschiedlichen Störgeräuschen	121
8.1	Motivation	121
8.2	Methode	121
8.3	Ergebnisse	122
8.4	Diskussion	125
9	Diskussion der Ergebnisse	129
10	Zusammenfassung und Ausblick	133
A	Probanden	135
A.1	Normalhörende	135
A.2	Hörschwellen der Probanden	136
A.3	CI-Träger	137
B	Einteilung der verwendeten Wörter in Gruppen nach phonetischen Gesichtspunkten	139
C	Verwendete Fünf-Wort-Listen	143
D	Ergebnisse zur Wortverständlichkeit der Einzelwörter	145
D.1	OLSA-Wörter (Normalhörende)	145
D.2	OlakS-Wörter (Normalhörende)	150
D.3	OLSA-Wörter (CI-Probanden)	155
D.4	OlakS-Wörter (CI-Probanden)	160
D.5	Korrigierte psychometrische Funktionen der CI-Träger	165
D.5.1	OLSA-Wörter	165
D.5.2	OlakS-Wörter	169
	Abbildungsverzeichnis	173
	Tabellenverzeichnis	183
	Literaturverzeichnis	188

Kapitel 1

Einführung

1.1 Motivation

Teilhabe am alltäglichen Leben trägt im Wesentlichen zur Lebensqualität bei. Wenn diese Teilhabe beeinträchtigt ist, etwa durch eine Hörschädigung oder sogar den Verlust des Hörens, dann kann dies zu sozialer Isolation der Betroffenen führen. Mit Hilfe eines Cochlea-Implantates (CI) wird versucht, diesen Menschen die lautsprachliche Kommunikation wieder zu ermöglichen. Seit Ende der 70er Jahre gibt es diese Hörprothese und seitdem wird kontinuierlich an ihrer Verbesserung gearbeitet. Das betrifft sowohl Veränderungen am Aufbau des Implantats (Gehäuse oder Elektroden), wie etwa, wenn es darum geht, Resthörvermögen – sofern vorhanden – bei der Implantation zu erhalten (von Ilberg et al., 1999). Es umfasst aber auch die Optimierung von Kodierungsstrategien (Wilson et al., 1991; Zierhofer und Schatzer, 2012), mit denen die Umwandlung des akustischen in das elektrische Signal vollzogen wird. Ebenfalls untersucht werden Algorithmen zur Störgeräuschunterdrückung für bilateral implantierte CI-Träger, um die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch zu verbessern (Baumgärtel et al., 2015).

Die Fähigkeiten der Schallanalyse mit einem CI sind in vielen Bereichen noch nicht mit denen von Normalhörenden (NH) vergleichbar. An der Entwicklung von Verbesserungsmöglichkeiten wird geforscht. So gibt es etwa Studien, die mittels direkter Stimulation einzelner Elektroden oder Kombinationen von Elektroden des Implantats arbeiten. D.h. die Mikrofone und der Sprachprozessor werden nicht genutzt, das Implantat wird direkt angesprochen. Dabei werden vor allem die Tonhöhenwahrnehmung und die Lautheit untersucht (Laback und Majdak, 2008; Laback et al., 2011; van Hoesel, 2008). Nachdem die Implantation eines zweiten Implantats immer häufiger geworden ist, werden auch die Lokalisationsfähigkeiten von Geräuschen und Sprache im Störgeräusch und die Sprachverständlichkeit untersucht (Kerber und Seeber, 2012; van Hoesel und Tyler, 2003; van Hoesel et al.,

2008), dem kann auch in einem virtuellen Raum nachgegangen werden (Majdak et al., 2011, 2010). Auch auf die Musikwahrnehmung, die für CI-Träger oftmals keinen Genuss darstellt, wird vermehrt der Fokus gelegt (McDermott, 2004).

Viele Fragestellungen über die Hörfähigkeiten mit einem CI können auch mit sogenannten Vokoderstudien an normalhörenden Probanden getestet werden (Souza und Rosen, 2009; Garadat et al., 2009; Chen und Loizou, 2011; Churchill et al., 2014a). Dabei findet eine Vorverarbeitung des Schalls ähnlich der Verarbeitung des Schalls im Sprachprozessor des CIs statt. Vokoderstudien werden durchgeführt, da diese den Vorteil einer homogenen Probandengruppe bieten. Dies kann bei Untersuchungen mit einer Probandengruppe von CI-Trägern oftmals nicht erreicht werden.

Der Ursprung des Testens der Fähigkeiten mit einem CI bilden Studien zur Sprachverständlichkeit, da hierfür das CI vorwiegend entwickelt wurde. Auch heute stellt die Sprachverständlichkeit immer noch ein Indikator für die Kostenübernahme durch die Krankenkassen dar. Hier gibt es zum einen Studien, die den Vorteil bei der Sprachverständlichkeit von bilateral implantierten gegenüber einseitig implantierten CI-Nutzern überprüfen (Culling et al., 2012; Churchill et al., 2014b). Zum anderen gibt es Studien, die sich mit der Verständlichkeit einzelner Sprachlaute beschäftigen (Donaldson und Kreft, 2006; Fogerty und Kewley-Port, 2009; Fogerty und Humes, 2012) oder die Sprachverständlichkeit in Tonsprachen, wie dem Mandarin-Chinesischen (Chen et al., 2013; Chen und Loizou, 2011) oder dem Kantonesischen (Schatzer et al., 2006) untersuchen. Des Weiteren werden Sprachtests für den klinischen Alltag erstellt (z.B. der Oldenburger Satztest (OLSA) (Wagener et al., 1999a,b,c)), die auch mit CI-Trägern durchführbar sind.

Auch wenn mittlerweile die Integration von Implantat-Trägern in die lautsprachliche Welt gut gelingt¹, kann die Partizipation am lautsprachlichen Alltag dennoch mit Einschränkungen und Kompromissen verbunden sein, wie folgender Beitrag einer bilateral implantierten CI-Trägerin auf der Homepage des Bayerischen Cochlea-Implantat-Verbandes e.V. in ihrem Erfahrungsbeitrag „Ohren zu - Vorhang auf? - Poetry Slam mit CI - Silke Pausch“ zeigt:

„... Ich bin mit 28 Jahren spätaubt. Musik war meine große Leidenschaft. Gerne stand ich mit der Gitarre auf der Bühne: das Scheinwerferlicht, der Applaus, die Gemeinschaft mit anderen Künstlern.... Man bezeichnet Gehörlosigkeit auch als soziale Behinderung. Nach meiner Implantation musste ich erst herausfinden, wie Treffen mit Anderen für mich funktionieren und ich lerne immer noch. So gibt es

¹An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass gehörlose Menschen ohne Cochlea-Implantat, die sich gebärdend unterhalten, nicht Gegenstand der Arbeit sind. Es geht um die Verbesserung der lautsprachlichen Kommunikation, in erster Linie das Lautsprachverstehen. Die Vor- und Nachteile einer rein gebärdenden Kommunikation werden hier nicht behandelt, was keine Wertung derselben bedeutet.

z.B. Plätze am Tisch, die günstiger sind als andere. Manche Cafés haben eine gute Akustik oder ich gehe nicht zu den Stoßzeiten in Restaurants essen, wenn möglich. Es ist eine große Herausforderung sich nicht ein zu igeln (sic!), sondern neues Land zu erobern. Doch es lohnt sich. Ich habe sogar wieder eine Möglichkeit gefunden auf der Bühne zu stehen, den PoetrySlam. Meine Texte begleite ich mit Gebärden. (...)“ Silke Pausch (33), Würzburg (Bayerischer Cochlea Implantat Verband e.V., 2015) (Zugriff: 18.03.2015)

Im klinischen Alltag gilt es zum einen auf der Seite der Audiologen objektiv festzustellen, wie gut der CI-Träger mit dem Implantat hören kann. Zum anderen sollen diese Ergebnisse auch Alltagsrelevanz für den Nutzer haben, d.h. die Ergebnisse sollten die Einschätzung einer alltagsgetreuen Situation „Hören im Störgeräusch“ zulassen. Diese beiden Dinge, Alltagstauglichkeit und Testbarkeit, zu verbinden, ist nicht einfach. Besonders wichtig ist dabei geeignetes Testmaterial, was diese genannten Dinge leisten kann. Bereits 1897 stellt Bezold in seiner Abhandlung „Über die funktionelle Prüfung des menschlichen Gehörorgans“ fest:

„Als regulären und zu einer raschen Uebersicht führenden Hörmesser besitzen wir keinen vollkommeneren als die Sprache (.) [...] Man kann wohl sagen: die Sprache enthält eine so vollkommene Zusammenstellung aller möglichen Lautkomplexe, dass wir sie für unsere Hörproben erfinden müssten, wenn wir sie nicht schon hätten.“ (Bezold, 1897, S. 26)

In der Praxis existieren viele etablierte Sprachtests, die eingesetzt werden können. Das Sprachmaterial unterscheidet sich bei den einzelnen Tests von Logatomen² (Logatomtest nach Jakobi, Jakobi und Ackermann (1982)) über Wörter (Freiburger Einsilbertest, Hahlbrock (1953)) und Sätze (Marburger Satzverständlichkeitstest, Niemeyer und Beckmann (1962)/ HSM-Satztest, Hochmair-Desoyer et al. (1997)/ OLSA, Wagener et al. (1999a)). Was der modernen Audiometrie jedoch fehlt, ist ein Diagnostikmaterial, welches zuverlässige Aussagen über das tatsächliche Verstehen der Testpersonen machen kann. Denn bisherige Tests, die zwar sehr gut durchdacht wurden und evaluiert sind, haben den Nachteil, dass das Sprachmaterial mittlerweile den Patienten durch vielfaches Testen bekannt ist und dadurch eine erhöhte Ratewahrscheinlichkeit verglichen mit unbekanntem Material besteht. So gilt es, die bisherigen Erkenntnisse über die Konstruktion eines alltagsnahen Tests, der die Testgütekriterien erfüllt, zu nutzen und neues Sprachmaterial auszuwählen oder eine andere Kombination von bereits bestehendem Sprachmaterial

²Logatome sind nach Gesetzmäßigkeiten der jeweiligen Sprache gebildete Lautkombinationen, die aber keine Wörter der jeweiligen Sprache sind. Zur Überprüfung der Sprachverständlichkeit werden häufig Ein- oder Zweisilber genommen, die die gleichen Vokale oder Konsonanten (*C*) besitzen, und nur durch Ändern der Vokale oder Konsonanten zur Überprüfung einzelner Laute genutzt werden können. Logatome der Form *aCa*, z.B. /asa/, /apa/, /ala/ oder der Form *CaC*, z.B. /sas/, /pap/, überprüfen die Verständlichkeit der Konsonaten in der a-Umgebung.

zu wählen, um damit einen neuen Test zu bilden. Damit können validere Aussagen über die Hörfähigkeit im Alltag und die Leistungsfähigkeit des Implantats unter Mitarbeit des jeweiligen Patienten getroffen werden.

1.2 Überblick

Die vorliegende Arbeit beginnt mit einer Darstellung der Messverfahren, die für die Sprachaudiometrie relevant sind (Kap. 2). In Kapitel 3 werden sprachwissenschaftliche Grundlagen erklärt und zwei Modelle für die Sprachverarbeitung vorgestellt. Im darauf folgenden Kapitel 4 wird ein Überblick über Sprachverständlichkeitstests im Deutschen gegeben und die Auswahl der Sprachstimuli für diese Sprachverständlichkeitstests beschrieben. Anschließend werden Möglichkeiten aufgezeigt, zeitgemäßes Sprachmaterial zu generieren. Durch eine Analyse von bereits vorhandenem Material wird beispielhaft erklärt, worauf bei der Erstellung neuer Sprachstimuli geachtet werden sollte.

In Kapitel 5 werden Einflussfaktoren auf die Satzverständlichkeit im Störgeräusch untersucht. Um genauer untersuchen zu können, ob Unterschiede der Wortverständlichkeit in phonetischen oder semantischen Eigenschaften der Wörter begründet liegen, werden Untersuchungen zur Wortverständlichkeit im Störgeräusch bei Normalhörenden und CI-Trägern durchgeführt (Kap. 6). Dafür wurde aus bereits vorhandenem Sprachmaterial unter Betrachtung der Wortvorkommenshäufigkeiten in Datenbanken und unter weiteren linguistischen Gesichtspunkten Sprachmaterial für die Experimente extrahiert.

Um die Lücke zwischen Wortverständlichkeit auf Einzelwortebene und Wortverständlichkeit auf Satzebene zu schließen, wird das kurzfristige Behalten von Fünf-Wort-Listen im Störgeräusch bei Normalhörenden und in Ruhe bei CI-Trägern in Kapitel 7 untersucht.

Ergebnisse zur Satzverständlichkeit in unterschiedlichen Störgeräuschen werden in Kapitel 8 erhoben und die in den bisherigen Kapiteln gewonnenen Ergebnisse mit diesen validiert. Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung und dem Ausblick (Kap. 10).

Die in dieser Arbeit beschriebenen Experimente wurden durch die Ethikkommission des Klinikums Rechts der Isar in München (2126/08) und durch die Ethikkommission des Klinikums Großhadern (375-09) genehmigt.

Kapitel 2

Messung der Sprachverständlichkeit

Im Gegensatz zu einem Tonaudiogramm, bei dem das Hörvermögen bei einzelnen Tönen unterschiedlicher Frequenzen in Ruhe überprüft und die sogenannte Ruhehörschwelle ermittelt wird, werden bei der Sprachaudiometrie Sprachstimuli in Ruhe oder im Störgeräusch präsentiert. Es wird also ein komplexer, zeitlich modulierter Stimulus verwendet. Der Proband muss das, was er gehört hat, wiederholen oder aus einer Vielzahl von vorgegebenen möglichen Antworten das Gehörte auswählen. Für die Messung der Sprachverständlichkeit werden psychoakustische Messmethoden eingesetzt. Mit diesen erhält man subjektive Bewertungen einer physikalischen Größe durch einen Probanden.

Im Folgenden werden einige grundlegende Begriffe geklärt und anschließend zwei Methoden vorgestellt, die in dieser Arbeit genutzt werden, um die Sprachverständlichkeit zu testen: Zunächst wird die Konstante Stimuli Methode vorgestellt, danach wird die Vorgehensweise von adaptiven Methoden erläutert.

2.1 Terminologie

Das menschliche Ohr kann Frequenzen von ca. 16 Hz bis 20 kHz wahrnehmen (Kalivoda und Steiner, 1998, S. 209), mit einem CI werden in Standardeinstellungen Frequenzen von 100 Hz bis 8500 Hz übertragen. Dabei ist der Pegel, der notwendig ist, um einen Sinuston wahrzunehmen, je nach Frequenz unterschiedlich hoch. Der Schallpegel wird über das Verhältnis von Drücken angegeben. Der Bezugswert hierfür ist $p_0 = 20 \mu \text{ Pa}$. Der Schallpegel wird über ein Verhältnis von Drücken definiert: $L = 20 \cdot \log_{10}(p/p_0)$ dB. In der Sprachaudiometrie ist der Unterschied zwischen Nutz- und Störschallpegel, der Signal-Rausch-Abstand (SNR), sehr wichtig. Er wird hier folgendermaßen definiert:

$$L_{SNR} = L_{Wort/Satz} - L_{Rauschen}$$

Damit kann die sogenannte Sprachverständlichkeitsschwelle ermittelt werden. Diese bezeichnet den SNR, bei dem der Stimulus in 50% der Fälle korrekt wiedergegeben wird.

Um Sprachverständlichkeit im Störgeräusch zu ermitteln, werden Störgeräusche verwendet. Oftmals sind dies stationäre Geräusche, die ihre Eigenschaften im Zeitverlauf nicht ändern. Ein sprachsimulierendes Rauschen ist ein Rauschen, welches das Langzeitspektrum der spektralen Eigenschaften von Sprache annähert. Ein Beispiel hierfür ist das CCITT-Rauschen, welches im Standard G.227 beschrieben wird (International Telecommunication Union, 1993) und dessen spektrale Eigenschaften den durchschnittlichen Eigenschaften mehrerer Sprachen, gefiltert über einen Telefonkanal, entsprechen. Es unterscheiden sich zwar die Laute, die es in unterschiedlichen Sprachen gibt, nicht aber die grundlegenden Frequenzeigenschaften der Einzelsprachen: So sind sich die Langzeitspektren von 13 Sprachen (europäische sowie auch asiatische) sehr ähnlich (Byrne et al., 1994).

Ein für die deutsche Sprache spezifisches Rauschen, welches auch in dieser Arbeit verwendet wird, ist das OLSA-Rauschen. Dies ist ein Rauschen, das aus der 30-fachen zeitlichen Überlagerung von Sätzen eines männlichen Sprechers gewonnen wird. Die Sätze sind dabei zufällig zeitlich verschoben. Somit verdeckt es die Sätze dieses Sprechers sehr gut (Wagener et al., 1999a). Zwar besitzen auf diese Art und Weise gewonnene Störgeräusche die spektralen Eigenschaften von Sprache, jedoch fehlt eine zeitliche Fluktuation. Diese Fluktuation kann durch Amplitudenmodulation erreicht werden. Ein solches moduliertes Rauschen simuliert die Überlagerung mehrerer Sprecher. Das somit erhaltene Rauschen hat Lücken, die der Normalhörende zum Hören der Sprache nutzen kann. Die Sprachverständlichkeit wird im Vergleich zu einem Rauschen ohne Modulation verbessert, schwerhörige Personen oder CI-Träger zeigen diese Verbesserung nicht, sondern sogar eine Verschlechterung (Gustafsson und Arlinger (1994) für Schwerhörige, Qin und Oxenham (2003) für Vokodersimulation, Rader et al. (2008) für CI-Träger). Ein solches moduliertes Rauschen ist das Fastl-Rauschen, welches das CCITT-Rauschen (International Telecommunication Union (1993), Standard G.227) mit Modulationsfrequenzen bis zu 4 Hz moduliert (Fastl, 1987).

2.2 Methodik

Es gibt mehrere Arten, die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch zu überprüfen. Zwei Methoden, die in dieser Arbeit dafür genutzt werden, werden im Folgenden erläutert.

2.2.1 Klassische Methode - Konstante Stimuli Methode

Mit der Konstanten Stimuli Methode kann die psychometrische Funktion (Abb. 2.1(a)) ermittelt werden. Diese erfasst die subjektive Wahrnehmung eines Probanden auf eine physikalische Größe. Dafür wird bei zuvor festgelegten Stimuluswerten (Stützpunkten) der Stimulus mehrmals pro Stimuluswert präsentiert. Die Stützpunkte sollten die zu ermittelnde Schwelle großzügig umgeben (Levitt, 1971). Die Präsentationen erfolgen in zufälliger Reihenfolge. Im Idealfall wird der Stimulus häufig bei jedem Stützpunkt präsentiert, so dass sich ein verlässliches Ergebnis ermitteln lässt.

Bei der Sprachverständlichkeitsmessung im Störgeräusch werden mehrere Signal-Rausch-Abstände definiert. Bei diesen wird ermittelt, wie oft die präsentierte Sprache von der Gesamtanzahl der Präsentation bei diesem Signal-Rausch-Abstand verstanden wird (beispielhaft Abb. 2.1(b)). Ziel dieser Methode ist es, eine psychometrische Funktion zu ermitteln, anhand derer man bei einem bestimmten Stimuluslevel die erwartete Häufigkeit einer richtigen Antwort bestimmen kann. Auf diese Art und Weise kann eine große Spannbreite von Daten bestimmt werden (Levitt, 1971, 469), mit denen der Verständlichkeitswert (Anteil richtiger Antworten) bestimmt werden kann.

Zur Bestimmung der psychometrischen Funktion mit den Messdaten gibt es para-

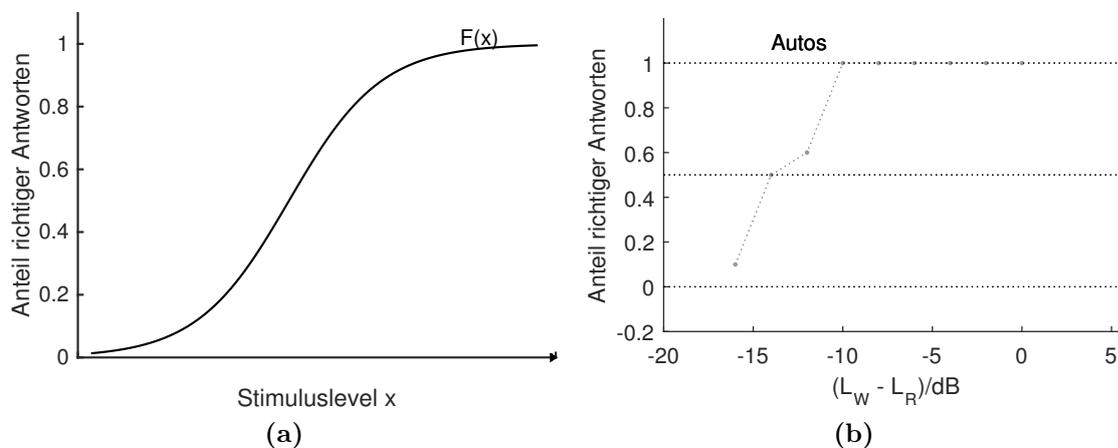


Abbildung 2.1: (a) Beispiel einer psychometrischen Funktion $F(x)$. Der Anteil richtiger Antworten ist über dem Stimuluslevel x aufgetragen. (b) Antworten eines Probanden, die mit der Konstanten Stimuli Methode erhalten wurden. Dabei wurde je Stützstelle der Schall „Autos“ im Störgeräusch beim entsprechenden Signal-Rausch-Abstand zehnmals präsentiert.

metrische und nicht-parametrische Methoden, die beide für eine Kurvenanpassung genutzt werden können (Klein, 2001). Die nicht-parametrische Kurvenanpassung

wird eingesetzt, wenn die Form der psychometrischen Funktion unbekannt ist und grobe Fehler zu vermeiden sind (Bi und Ennis, 1998). Bei der parametrischen Kurvenanpassung, die auch in dieser Arbeit genutzt wird, werden bereits im Vorfeld Annahmen über die Form der psychometrischen Funktion getroffen (Klein, 2001). Die hierbei am häufigsten verwendeten Möglichkeiten sind logistische Modelle und Probitmodelle (Bi und Ennis, 1998). Die zugrundeliegende Verteilung bei Probitmodellen ist die Normalverteilung, bei logistischen Modellen eine logistische Verteilung¹. Liegt eine Kurvenanpassung für die psychometrische Funktion vor, dann zeigt die Steigung in einem Punkt die Veränderung der Leistung bei einer Änderung der Stimulusintensität an (Wichmann und Hill, 2001).

2.2.2 Adaptive Methoden

Im Gegensatz zu der Konstanten Stimuli Methode wird bei adaptiven Methoden keine psychometrische Funktion bestimmt, sondern ein Wert der psychometrischen Funktion an einer bestimmten Stelle ermittelt. Dabei wird ausgehend von der Antwort des Probanden auf einen Reiz der nächste abzuspielende Reiz/Schall ermittelt. Dadurch konvergiert die Methode bei einem bestimmten Stimuluswert. Ausgangspunkte von adaptiven Methoden sind somit ein Funktionswert der psychometrischen Funktion und ein Startwert für den Stimulus, als Ergebnis liefert sie den zu diesem Funktionswert gehörenden Stimuluswert.

Bei Sprachverständlichkeitstests entspricht der Stimuluswert dem Signal-Rausch-Abstand; der Funktionswert entspricht dem Anteil korrekter Antworten. Welcher Funktionswert der psychometrischen Funktion ermittelt werden soll, wird durch eine Adaptionsregel festgelegt. Hierbei handelt es sich um sogenannte Up-Down-Prozeduren. Das Stimuluslevel wird reduziert, wenn der Proband zuvor eine gewisse Anzahl an aufeinander folgenden richtigen Antworten gegeben hat und erhöht, wenn die Antwort auf den vorangegangenen Reiz falsch war (Abb. 2.2 für einen Satzverständlichkeitstest). Nach einer zuvor festgelegten Anzahl an Umkehrpunkten wird die Messung beendet. So wird bei der 2-down-1-up-Methode nach zwei richtigen Antworten das Stimuluslevel verringert und bei einer falschen vergrößert. Damit wird der Punkt geschätzt, bei dem in 71% der Fälle eine richtige Antwort vom Probanden gegeben wird, bei der 1-down-1-up-Methode wird der 50%-Wert ermittelt Levitt (1971)². Nach einer bestimmten Anzahl von Umkehrpunkten wird das Testen beendet (Levitt, 1971). Bei Ermittlung derselben Verständlichkeitswerte durch vier adaptive Methoden konnten Amitay et al. (2006) keinen signifikanten Unterschied zwischen den jeweils ermittelten Ergebnissen feststellen.

¹Eine Beschreibung weiterer Modelle für die Kurvenanpassung einer psychometrischen Funktion ist z.B. bei (Bi und Ennis, 1998) zu finden.

²Bei Levitt (1971) werden die Werte aufgelistet, die mit dem jeweiligen Verfahren ermittelt werden.

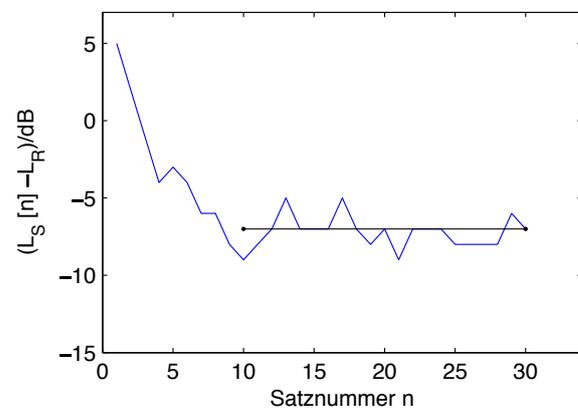


Abbildung 2.2: Einregelungskurve eines Probanden für die Bestimmung der Sprachverständlichkeitsschwelle mit einem adaptiven Verfahren. Der Einregelungsvorgang wird in Kap. 5 näher beschrieben. L_S steht für den Satzpegel, L_R für den Pegel des Störgeräuschs.

Kapitel 3

Sprachliche Einheiten (in Sprachverständlichkeitstests)

Für die Betrachtung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch ist die phonetisch-phonologische Ebene von Sprache besonders wichtig. Zudem ist es auch unumgänglich, die syntaktische und die semantische Ebene miteinzubeziehen, wenn Wörter oder Sätze als Stimuli für Sprachverständlichkeitstests genutzt werden. Daher wird nach Klärung der Fachtermini auf diese Bereiche im folgenden Kapitel näher eingegangen.

3.1 Terminologie

3.1.1 Sprachliche Einheiten (Silbe, Wort, Satz)

Die kleinste bedeutungsunterscheidende Einheit gesprochener Sprache ist das Phonem: So sind /s/ und /ʃ/¹ in <Bus> und <Busch> bedeutungsunterscheidend und daher Phoneme des Deutschen. Die konkrete Realisierung eines Phonems ist das Phon, wobei mehrere Phone zu einem Phonem gehören können (Pompino-Marschall, 2009, S. 178), so z.B. die /a/s verschiedener Sprecher. Werden mehrere Phoneme unter Berücksichtigung bestimmter Gesetzmäßigkeiten miteinander kombiniert, so bilden sie eine Silbe des Deutschen. Diese wiederum kann alleine oder mit mehreren Silben zusammen ein Wort ergeben, wobei eine eindeutige Definition des Begriffes *Wort* umstritten ist (Bußmann (2008, S. 794), Grimm und Engelkamp (1981, S. 305)). Obwohl die Bezeichnung *Wort* umgangssprachlich weit verbreitet

¹In dieser Arbeit wird überwiegend die phonematisch/phonologisch breite Transkription in // verwendet. Sollte es notwendig sein, so wird die enge phonetische Transkription mit der Symbolik des Internationalen Phonetischen Alphabets (IPA) in [] verwendet. Zur Unterscheidung dieser Konventionen vgl. Pompino-Marschall (2009, S. 2,267ff.).

ist, hat sich etabliert, eine Definition für die jeweilige sprachliche Beschreibungsebene zu formulieren oder den Begriff *Wort* durch genauere Begriffe zu ersetzen (Bußmann, 2008, S. 794). Zur Beschreibung des Auftretens von flektierten Wortformen und deren Grundformen in gesprochenen und geschriebenen Texten ist die Unterscheidung *Type* und *Token* wichtig. Unter *Token* versteht man die konkrete Äußerung, während *Type* die dazugehörige Einheit der Metaebene ist (Wetzel (2000), Richards (1987)). So ist *kannst* ein Token zum Type *können*. Diese Nomenklatur wird besonders für die Wortschatz-Analyse gesprochener oder geschriebener Sprache genutzt und an geeigneten Stellen in dieser Arbeit verwendet. Ansonsten wird – obwohl die Verwendung, wie bereits angeführt, nicht unumstritten ist – aufgrund der besseren Verständlichkeit der Begriff *Wort* verwendet.

Kombinationen mehrerer flektierter Wortformen (Tokens) unterschiedlicher Types ergeben schließlich einen Satz. Er wird als „hinsichtlich Inhalt, gramm. (sic!) Strukturen und Intonationen relativ vollständig und unabhängig (... .)“ (Bußmann, 2008, S. 601) beschrieben. Für die Erstellung eines Satzes gibt es aber sprachspezifische Regeln, die die Kombinationsmöglichkeiten von Wörtern bestimmen und nicht unbedingt übersprachlich gelten müssen. Im Englischen ist die Position im Satz entscheidend für die Unterscheidung zwischen Subjekt und Objekt, im Deutschen hingegen kann in den meisten Fällen die Kasusmarkierung dafür genutzt werden:

Die Katze beißt den Hund.

Subjekt (Nom) V Objekt (Akk)

Den Hund beißt die Katze.

Objekt (Akk) V Subjekt (Nom)

The cat bites the dog.

Subjekt (Nom) V Objekt (Akk)

The dog bites the cat.

Subjekt (Nom) V Objekt (Akk)

Während also im Deutschen die Umstellung des Objekts an die erste Stelle im Satz nichts verändert, ändert sich im Englischen die Subjekt-Objekt-Beziehung. Damit ergeben sich im Deutschen mehr Kombinationsmöglichkeiten von Phrasen im Satz. Dies schlägt sich auch in der Sprachverarbeitung wieder: So finden Vasishth et al. (2010) einen Unterschied in der Verarbeitung von englischen und deutschen Sätzen bei den Muttersprachlern der jeweiligen Sprache. Die zugrunde liegende Sprachstruktur der Muttersprache beeinflusst die Fähigkeiten der Sprecher einer Sprache, Vorhersagen von noch im Satz auftauchenden Strukturen sicherer treffen zu können (Vasishth et al., 2010). Daher können, wenn die Sprachverständlichkeit auf Satzebene geprüft wird, keine Verallgemeinerungen für alle Sprachen getroffen werden. Die Ergebnisse müssen immer sprachspezifisch gesehen werden.

Ein Phonem im Deutschen kann allein keine wortinitiale Silbe bilden, denn auch schriftsprachlich rein vokalische Silben werden lautsprachlich mit einem Glottis-

stop² realisiert (Sievers, 1891) und bestehen daher aus mindestens zwei Phonemen. Dies gilt nicht für wortmediale und -finale Silben. Eine Silbe allein kann aber durchaus schon ein Wort und gegebenenfalls auch einen Ein-Wort-Satz bilden. Daher wird im Folgenden auch auf die Silbe als elementare sprachliche Einheit eingegangen.

Im Deutschen werden zwei große Lautklassen unterschieden: Vokale und Konsonanten. Vokale werden durchweg stimmhaft gebildet, die Stimmlippen schwingen während des gesamten Erzeugungsvorgangs. Aufgrund der unterschiedlichen Länge der Stimmlippen und den dadurch bedingten anderen Schwingungseigenschaften unterscheiden sich Männer- und Frauenstimmen in ihrer Grundfrequenz. Frauenstimmen liegen bei ca. 210 / 230 Hz, Männerstimmen bei ca. 120 Hz, allerdings können sich diese Werte mit dem Alter etwas ändern (Traunmüller und Eriksson, 1995; Pompino-Marschall, 2009, S. 35).

Durch Zungenhöhe und -lage können unterschiedliche Vokale gebildet werden. Charakteristisch für die Erkennung von Vokalen sind ihre Formanten. Formanten sind energiereiche Frequenzanteile. Der erste Formant (F1) und der zweite Formant (F2) reichen im Allgemeinen aus, um einen Vokal zu bestimmen. Die durchschnittlichen Frequenzen der beiden Formanten für die Vokale des Deutschen sind in Abb. 3.1³ zu sehen.

Bei der Gruppe der Konsonanten wird eine Unterteilung anhand der Art ihrer Bildung im Vokaltrakt und der dadurch entstehenden Schalleigenschaften vorgenommen. Bei den meisten Konsonanten gibt es ein Paar, welches am gleichen Ort im Vokaltrakt gebildet wird, sich aber durch die Eigenschaft der Stimmhaftigkeit unterscheidet: Bei einem stimmhaften Laut schwingen die Stimmlippen periodisch, bei stimmlosen Lauten fehlt diese Periodizität.

Plosive sind Laute, die durch eine Verschlussbildung und die Lösung des Verschlusses erzeugt werden. Dadurch entsteht ein charakteristischer „Burst“. Das Deutsche kennt die Plosive /p-b/, wie in /Paare/ und /Bahre/, /t-d/, wie in /Torf/ und /Dorf/, sowie /k-g/, wie in /Kurt/ und /Gurt/ und den Glottisstop /ʔ/. Die Verschlussbildung ist an der „akustischen Stille“ zu erkennen, die während der Verschlussphase eintritt (Pompino-Marschall, 2009, S. 184ff.). Die Lösung des Verschlusses ist durch abruptes Einsetzen des folgenden Lautes zu sehen, diese Phase ist allerdings sehr kurz. Frikative werden durch Engebildung im Vokaltrakt an Lippen, der Zunge mit Gaumen oder Zahndamm oder durch Engebildung im Rachen charakterisiert. Im Deutschen werden folgende Frikative unterschieden: /f-v/ wie

²Der Glottisstop zählt zu den Plosiven und ist bei Sprechern der deutschen Sprache durch einen Knacklaut vor dem wortinitialen Vokal zu hören: Abend [ʔa.bənt]. Er hat zwar im Deutschen keine distinktive Funktion, wird hier jedoch immer vor dem wortinitialen Vokal realisiert (Pompino-Marschall, 2009, S. 190).

³Die in den Abbildungen abgebildeten Vokale bezeichnen folgende Vokale nach dem IPA: a - a, ɑ - ɑ:, ɔ - ɔ, oe - œ, E - ε, E: - ε:, ɔ - ɔ:, u - ʊ, Y - y, oe: ø:, I - i, e: - e:, u: - u:, y: - y:, i: - i:.

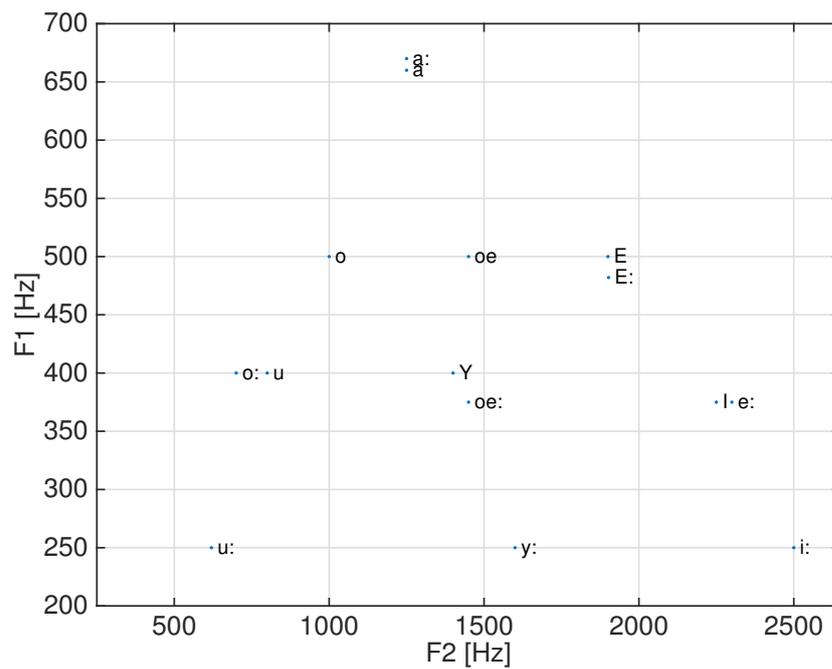


Abbildung 3.1: Mittelwerte der ersten beiden Formanten für die Vokale des Deutschen nach Rausch (1972) (S.78f.). Da bei Rausch (1972) keine Angaben für /ɛ:/ (E:) gemacht werden, wurden der Abbildung die Angaben für /ɛ:/ für männliche Sprecher nach Sendmeier und Seebode (2006) ergänzt.

in /fahl/ und /Wal/, /s-z/ wie in /Sand/ und /Essig/, /sch/ wie in /Schule/, /ch-x/ wie in /ich/ und /ach/ (Pompino-Marschall, 2009, S. 196). Bei Nasalen wird das Gaumensegel gesenkt. Dieses trennt den Rachen- vom Nasenraum und ist normalerweise beim Sprechen angehoben. Im Deutschen werden die Nasale /m/ wie in /Mama/, /n/ wie in /Nase/ und /ng/ wie in /Angel/ unterschieden (Pompino-Marschall, 2009, S. 193).

Approximanten nehmen eine Art Zwischenrolle zwischen Konsonanten und Vokalen ein. Hierzu zählen /j/ wie in /Junge/ und /l/ wie in /Lamm/.

Mit Hilfe der Phonotaktik, die die Kombinationsmöglichkeiten von Phonemen innerhalb einer Silbe beschreibt, können diese Gruppen unterschieden werden. Diese Regeln haben nicht nur aus theoretischer Sicht für die Beschreibung von Silben eine Bedeutung. Säuglinge haben die Regeln, mit der Laute in ihrer Muttersprache kombiniert werden können, schon verinnerlicht und können so zwischen nach diesen Regeln gebildeten Wörtern und Nicht-Wörtern unterscheiden (Siegler et al., 2005, S. 314f.). Auch Erwachsene mit schweren Sprachstörungen halten sich an die phonotaktischen Regeln (Fischer, 2009, S. 104). Das heißt, der Mensch verinnerlicht diese Regeln unbewusst beim Spracherwerb und sie sind so robust, dass sie selbst bei schwersten Störungen noch erhalten bleiben. Zugrunde liegt der Phonotaktik das Konzept der *Sonorität* eines Lautes, die in der Sonoritätsskala zusammengefasst, den Aufbau einer Silbe bestimmt. Grundsätzlich ist die Silbe in drei Teile gegliedert: den Silbenonset, den Silbenkern und die Silbenkoda. Die Sonorität beschreibt den Anteil an Klangfülle und ist komplementär zur Eigenschaft *konsonantische Stärke*. Vokale sind dabei die Laute, die die höchste Sonorität besitzen und damit auch alleine den Silbenkern besetzen und somit alleine eine Silbe bilden können. Konsonanten können dies nicht⁴, sie werden anhand ihrer Sonorität aufsteigend um den Silbenkern angeordnet (Abb. 3.2).

Als *optimale Silbe* aus Sicht des Sonoritätsprinzips bezeichnet man eine Silbe, die aus der Kombination von einem Laut im Silbenonset, der idealerweise sehr geringe Sonorität besitzt, einem Vokal und einer leeren Silbenkoda besteht.⁵ Der Kontrast zwischen Silbenonset und Silbenkern ist dadurch maximal. Diese Silben finden sich auch bei Säuglingen im Erstspracherwerb: *pa* und *ma* sind solche Silben, die Kinder im Alter von sechs bis zehn Monaten lautieren können (Siegler et al., 2005, S. 316). Silbenkontaktgesetze halten die Regeln für die Kombinationen von mehreren Silben fest (Vennemann, 1988). Die Silbe stellt sowohl auf der Artikulationsebene eine „elementare phonetische Produktionseinheit“ (Pompino-Marschall, 2009, S. 240f.) dar, als auch akustisch eine durch einen raschen Pegelanstieg und Pegelab-

⁴Auf die Unterscheidung silbische und nicht-silbische Konsonanten wird hier verzichtet, da diese zwar in der Alltagssprache vorkommen, bei deutlich und langsam aufgesprochenem Sprachmaterial allerdings nicht auftreten. Zur Vertiefung dieser Unterscheidung sei z.B. auf Hirsch-Wierzbicka (1971), S. 9f. verwiesen.

⁵Bereits 1876 beschrieb Sievers (1876) die Kombinationsmöglichkeiten von Lauten.

stieg charakterisierte Einheit (ebd.).

Die Lautumgebungen beeinflussen auch die Schalleigenschaften, die wichtig sind,

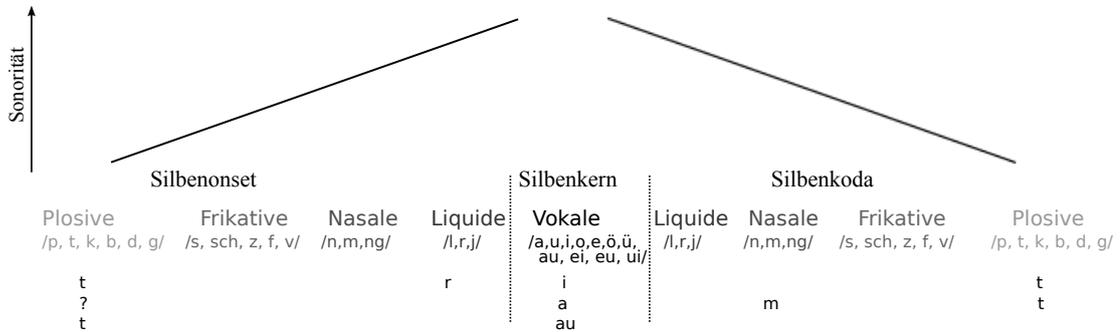


Abbildung 3.2: Darstellung der Sonoritätsskala und des Silbenaufbaus. Mit zunehmender Sonorität stehen die Laute näher am Silbenkern. Exemplarisch dargestellt sind die Wörter *Tritt*, *Amt* und *Tau*.

um Laute und Lautkombinationen zu identifizieren. Wenn ein Phonem, welches sehr weit vorne im Vokaltrakt gebildet wird, mit einem weiter hinten gebildeten kombiniert wird, so passt sich die Zungenlage aus Effizienzgründen an (Sievers, 1891). Dadurch kann es sein, dass sich die Zunge beim /k/ in /kino/ weiter vorne im Mundraum befindet als bei /kahn/, dies wiederum schlägt sich auf die akustischen Merkmale von /k/ nieder.

Wie wirken sich die beschriebenen Eigenschaften der Laute auf ihre Verständlichkeit aus? Inwiefern unterscheidet sich die Lautverständlichkeit bei Normalhörenden und Hörbeeinträchtigten?

Generell können Normalhörende Konsonanten in Vokalumgebungen zu 97,3 % richtig identifizieren (Shannon et al., 1999). Auf die Spracherkennung von CI-Trägern haben die Pulsrate und die Pulsweite des übertragenen Sprachsignals den größten Einfluss (Loizou et al., 2000). Unterschiedliche Kodierungsstrategien führen nicht immer zu einem Unterschied in der Sprachverständlichkeit, hingegen führt eine ansteigende Elektrodenanzahl (auf 7-10 Elektroden) zu einer Verbesserung (Friesen et al., 2001). Bei der Erkennung von Vokalen (insbesondere Vokaldauer und Formantänderungen) jedoch verhalten sich Normalhörende, CI-Träger und Normalhörende, die einen 8-Kanal-Vokoder-Stimulus hörten, sehr ähnlich (Iverson et al., 2006).

Zur Unterscheidung von Plosiven sind alle akustischen Teile des Plosivs wichtig: der Burst, die Dauer des Schließintervalls und die Übergänge zu anderen Konsonanten (Dorman und Raphael, 1980). Um die stimmhaften und stimmlosen alveolare Plosive /d/ und /t/ unterscheiden zu können, nutzen Normalhörende hauptsächlich den Burst, während die untersuchten Hörgeschädigten den Zeitpunkt des Beginns des auf den Plosiv folgenden Vokals nutzen (Sendlmeier, 1989b,a). Sendlmeier (1989b)

interpretierte dies dahingehend, dass dies ein zeitlich robusteres Merkmal ist, was für Hörgeschädigte auch im Alltag einfacher zu identifizieren ist. Für die Verständlichkeit von /s/ im Deutschen spielen die Transitionen zwischen /s/ und dem darauf folgenden Vokal eine große Rolle (Stock et al., 1994), da dies meist tieferfrequente Hinweise sind, die auch bei einer beginnenden Hochtonschwerhörigkeit wahrgenommen werden können. Auch die Vokalumgebung, in der Konsonanten präsentiert werden, haben einen Einfluss auf deren Verständnis. So konnten in einer Studie, in der die Konsonantenerkennung in Abhängigkeit vom Vokalkontext bei CI-Trägern im Englischen untersucht wurde, Konsonanten in einer /a/- und /u/-Umgebung besser verstanden werden, als in /i/-Umgebung. Am schlechtesten zu erkennen waren die Konsonanten /m/, /l/, /f/, /v/ und /θ/ (Donaldson und Kreft, 2006).

Die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch bei Konsonanten und Vokalen von CI-Trägern verbessert sich bei geringer Signalkompression im Vergleich zu hoher. Diese Verbesserung war aber nur im Störgeräusch zu beobachten, nicht in Ruhe (Fu und Shannon, 1999b). Eine Reduktion des akustisch übertragenen Frequenzbereichs kann im Störgeräusch zu einer signifikanten Verbesserung führen (Fu und Shannon, 1999a).

Dies alles zeigt, dass die sichere Identifikation von Lauten von (Umgebungs-)Faktoren beeinflusst wird und daher die noch komplexere Wortidentifikation einer umfassenden Untersuchung bedarf.

3.1.2 Syntax und Semantik

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt die Phonetik behandelt wurde, wird nun ein Einblick in die Bereiche von Syntax und Semantik gegeben, die für die Sprachverständlichkeit wichtig sind.

Aufbau des semantischen Systems

Die Bedeutung eines Wortes wird im semantischen System gespeichert. Aufschluss über die Organisation des semantischen Systems geben Untersuchungen an Gesunden und an Patienten, die Störungen in einer sprachlichen Modalität (Sprechen, Verstehen, Lesen, Schreiben) aufweisen. Ebenfalls gibt der Erstspracherwerb bei Kindern Aufschluss über sprachliche Organisation. Ein Erklärungsansatz dazu, die Prototypentheorie, basiert hauptsächlich auf Erkenntnissen zum Wortabruf; sie geht davon aus, dass typische und weniger typische Vertreter einer Kategorie existieren (Aitchison, 1997, S. 89). Ein Spatz oder ein Rotkehlchen sind prototypische Vertreter der Kategorie *Vogel*, ein Pinguin hingegen eher ein randständiger Vertreter (Osherson und Smith, 1981). Prototypische Vertreter einer Kategorie haben sehr viele Merkmale des Konzepts der Kategorie (z.B. Benassi et al. (2012)),

nicht-prototypische Vertreter besitzen zwar einige, aber nicht alle Merkmale der Kategorie. Bei ihnen lässt sich eine Rangfolge mit Nähe zum Prototypen erstellen. Die Grenzen einer Kategorie lassen sich nicht scharf ziehen, da die Zuordnung zu einer Kategorie aufgrund der Ähnlichkeit zum Prototypen erfolgt (Osherson und Smith, 1981). Für eine solche Organisation des semantischen Systems spricht, dass in Experimenten, in denen Wörter einer Kategorie zugeordnet werden sollten, die Prototypen einer Kategorie im Wesentlichen nur dieser Kategorie zugeordnet wurden, und selten Angehörige mehreren Kategorien sind (Rosch und Mervis, 1975). Jedoch können mit dieser Einteilung in Kategorien nicht alle Wörter zugeordnet werden, Abstrakta oder die Bedeutung von Funktionswörtern können nicht mit der Prototypen-Theorie erklärt werden (Osherson und Smith, 1981) und sind kulturell geprägt (Aitchison, 1997, S. 89). Wie häufig ein Wort vorkommt⁶, hat ebenfalls einen sehr großen Einfluss auf die Abrufbarkeit eines Wortes, allerdings in Abhängigkeit von der Art, wie der Zugriff zum Lexikon erfolgen soll (Balota und Chumbley, 1984). Bei einer Aufgabe, in der Probanden Wörter vorlesen mussten, konnte die Vorkommenshäufigkeit ein entscheidender Prädiktor für die Schnelligkeit des Sprechensatzes sein, nicht jedoch bei Aufgaben, in denen Wörter einer Kategorie zugeordnet werden mussten (Balota und Chumbley, 1984). Je häufiger ein Wort genutzt wird, umso schneller und weniger fehleranfällig kann dieses abgerufen werden (Altmann, 2001; Marslen-Wilson und Tyler, 1980; Millianti, 1974). Dabei bezieht sich dies auch auf einen individuell unterschiedlichen Wortschatz, je nach Umfeld eines Menschen. So wird ein Ingenieur im Bereich Akustik das Wort „Lautsprecher“ häufiger benutzen und hören als das Wort „Bauchspeicheldrüse“. Umgekehrt wird ein Arzt letzteres Wort häufiger benutzen und auch schneller abrufen können. Man unterscheidet also auch nach *Familiarität* eines Wortes. Eine weitere Rolle spielt die Komplexität, so sollen komplexere Spracheinheiten schwieriger zu verarbeiten sein als weniger komplexe (Carroll, 2013a). Allerdings können nicht nur semantische Relationen die Aktivierung von Wörtern beeinflussen, auch phonologische Informationen spielen dabei eine Rolle (Mani und Plunkett, 2011, vgl. hierzu auch Abschnitt 3.2.1).

Bei der Auswahl von Sprachmaterial müssen all diese Aspekte beachtet werden, da sie einen wesentlichen Einfluss auf die Reaktionszeiten der untersuchten Personen haben können (Gerhand und Barry, 1999).

⁶Um eine Verwechslung mit dem physikalischen Fachbegriff *Frequenz* zu vermeiden, wird der linguistische Fachterminus *Frequenz* in dieser Arbeit mit *Vorkommenshäufigkeit* / *Vorkommen* bezeichnet.

Unterscheidung syntaktischer Kategorien / Wortarten

Die Kombination von Wörtern in einer Sprache wird durch die Syntax geregelt. Die syntaktischen Eigenschaften regeln die Flexionseigenschaften eines Wortes. Syntaktische Eigenschaften und die Zuteilung zu Wortarten hängen sehr stark zusammen, denn oft kann die Wortart eines Wortes erst bestimmt werden, wenn es in einem Satzkontext eingebettet ist. Die Unterteilung in Wortarten, wie sie in Schulgrammatiken verwendet wird, führt Ehlich (2007) auf Werke von Aelius Donatus (4. Jh. n. Chr.) und auf den Griechen Dionysius Thrax (ca. 2. Jh. v. Chr.) zurück (Ehlich, 2007). Letzterer unterscheidet zum ersten Mal acht Wortarten, die dann auch von Donatus aufgegriffen werden. Der darauf basierende klassische Wortartenansatz unterscheidet: Nomen, Pronomen, Verben, Adverben, Partizipien, Konjunktionen, Präpositionen und Interjektionen (Ehlich, 2007). Die Zuordnung zu einer dieser Wortarten erfolgt sowohl aufgrund von lexikalischen als auch syntaktischen Kriterien (Dudenredaktion, 2005). Im 20. Jahrhundert gibt es mehrere Einteilungen, die jeweils in Abhängigkeit des Forschers eine unterschiedliche Anzahl von Wortarten unterscheiden (zwischen vier und 13) (Hirsch-Wierzbicka, 1971, S. 24). Da die Entscheidung über die Zuteilung zu einer Wortart häufig erst getroffen werden kann, wenn die Verwendung im Satz betrachtet wird, wird auch der Begriff „syntaktische Kategorie“ für Wortarten verwendet.

Bei dem Versuch, die oben genannte Unterteilung in Wortarten auch in andere Sprachen, insbesondere die nicht-lateinischen und Sprachen, mit denen man im Zuge der Kolonialisierung konfrontiert war, zu übertragen, stieß dieses System an seine Grenzen (Ehlich (2007), Vogel (2007), S. 97; für die Darstellung des Tonganischen, einer Sprache ohne Nomen und Verben vgl. Broschart (1997)). Dies führte dazu, dass das klassische Wortartensystem für die Übertragung in andere Sprachen in Frage gestellt wird und Versuche neuer Ansätze zur Beschreibung von Sprachen entstehen. In neuerer Zeit erhofft man sich von psycholinguistischen und neurolinguistischen Untersuchungen Auskunft über die Organisation und Struktur von Sprache. Diese wiederum haben Auswirkungen auf die Kategorisierung in der Sprachanalyse und Modellbildung im Zusammenspiel mit anderen kognitiven Funktionen (z.B. Knobloch (2003), S. 29, Rickheit et al. (2010), S. 5). So geht die Generative Grammatik mit ihrem bedeutendsten Vertreter, Noam Chomsky, von einem allen Sprachen zugrunde liegenden Formalismus aus. Nach dieser Annahme muss es eine Syntax geben, die alle Sprachen gemeinsam haben, da es Neugeborenen in Abhängigkeit ihrer Umgebungssprache möglich ist, praktisch jede Sprache der Welt zu erlernen (Rickheit et al., 2010, S. 10). Insbesondere der Anteil des Inputs aus der Umwelt am Spracherwerb wird von Chomsky vernachlässigt, jedoch bei anderen, wie den behavioristischen Ansätzen, bei denen mehr die Semantik im Vordergrund steht, hervorgehoben (Rickheit et al., 2010, S. 10f.).

Bei der Verwendung der Wortarten gibt es im Deutschen Unterschiede. So besetz-

ten bei Untersuchung deutscher Kurzprosatexte auf die Vorkommenshäufigkeit von Wortarten die Gruppen Verben und Nomen überwiegend die ersten beiden Rangplätze, während Adjektive und Artikel in den untersuchten Texten Plätze von 4 bis 8 bzw. von 3 bis 7 einnahmen (Best, 1997). Wortarten, wie Adverb und Präposition, die in dieser Arbeit keine Rolle spielen, werden hier nicht betrachtet.

Zusammenhang zwischen semantischen und syntaktischen Unterscheidungen

Die oben beschriebene Prototypen-Theorie lässt sich auch auf die Semantik syntaktischer Kategorien im Deutschen anwenden: So kodieren prototypische Vertreter der Verben eine Handlung / ein Ereignis (Vigliocco et al., 2011; Lehmann, 1992), wie *geben* und *nehmen*, bei denen typischerweise Aktanten beteiligt sind. Prototypische Nomen sind Objekte, die ganzheitlich als Gegenstand in der realen Welt erfassbar sind (Vigliocco et al., 2011; Lehmann, 1992; Hoffmann, 2007a, S.10), wie *Teller* oder *Stift*. Nomen und Verben bzw. Objekte und Handlungen werden jeweils auf unterschiedliche Art und Weise verarbeitet. Dafür gibt es Hinweise aus der Aphasologie, wo z.B. nach einer Schädigung / Unterversorgung des Broca-Areals hauptsächlich nur noch Nomen und nach Schädigungen des Wernicke-Areals hauptsächlich nur noch Verben und Funktionswörter produziert werden können (Lutz, 2004, S. 31ff.).

Adjektive bilden eine Gruppe von Wörtern, die ein Bezugswort charakterisieren und näher beschreiben (Sichelschmidt, 1989, S. 16). Sie stehen in ihrer Schwierigkeit bei Lesestörungen zwischen Nomen und Verben (Krause, 2002, S. 15,33), sind von der Größe der Klasse hinter Nomen und Verben anzusiedeln und werden in der Schriftsprache sehr viel häufiger gebraucht als in gesprochener Sprache (Sichelschmidt, 1989, S. 19). Zahlwörter sollen in Anlehnung an Krause (2002) nicht als Adjektive gewertet werden, da sie keine Eigenschaften bezeichnen (Krause, 2002, S. 15). Die Eigennamen haben in gewisser Weise eine Sonderrolle: Sie werden zwar wie Nomen verwendet, haben allerdings gewisse Sonderregeln, z.B. werden sie im Standarddeutschen ohne Artikel verwendet. Der bestimmte Artikel von Vornamen ist in gesprochener Sprache jedoch durchaus üblich (Dudenredaktion, 2005, S. 309). Prototypische Vertreter der Wortarten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Komplexität und damit auch in ihren kognitiven Anforderungen. So sind Objekte ganzheitlich erfassbar und referieren auf einen realen Gegenstand in der Welt, während bei Ereignissen auch Tempus, Modus und Numerus erfasst werden müssen. Für eine weitere, detailreichere Analyse der Wortarten sei z.B. auf Schindler (2002) und Hoffmann (2007b) verwiesen. Allerdings können Wörter auch unterschiedliche syntaktische Kategorien annehmen. Etwa das Wort *Leben*, welches in der Verwendung *Das Leben ist lang* oder *Wir leben in München* unterschiedlich gebraucht

wird. Ergebnisse aus Studien, die darauf hinweisen, dass Wörter auch tatsächlich nach Wortarten getrennt gespeichert werden, werden dahingehend kritisiert, dass es sich hierbei zunächst hauptsächlich um Unterschiede in der Semantik handelt und wahrscheinlich nicht um Unterschiede in der Wortart (Vigliocco et al., 2011). Dafür spricht zwar, dass viele Benennstudien Material verwenden, welches bildlich darstellbar ist und daher hauptsächlich konkrete Wörter getestet werden. Jedoch konnten Mondini et al. (2004) schlechtere Benennleistungen finden bei Komposita, die aus Verben und Nomen bestehen, als bei Komposita aus Nomen und Nomen. Auf Satzebene wird die semantische Information bei der Identifizierung des Wortes recht früh abgerufen und ist während der gesamten Satzverarbeitung präsent (Marslen-Wilson und Tyler, 1980). Sind sowohl syntaktische als auch semantische Informationen vorhanden, so werden auch beide Informationen abgerufen (ebd.).

3.2 Modelltheoretische Annahmen zur Sprachverständlichkeit

3.2.1 Phonetisch-phonologisches Modell: Das Kohortenmodell

Das Kohortenmodell nach Marslen-Wilson und Tyler (1980) entwirft ein Modell der Sprachverständlichkeit nach phonologischer Ähnlichkeit. Das Modell beschreibt sowohl bottom-up als auch top-down Prozesse und einen Abgleich und Austausch zwischen beiden Prozessen (Marslen-Wilson, 1987; Marslen-Wilson und Welsh, 1978). In dem Modell sind Wörter aufgrund ihrer Phonemzusammensetzung in kaskadenartigen Kohorten angeordnet. Wörter mit gleichem Anfangslaut sind in der gleichen Kohorte und werden zusammen aktiviert. Sobald der Hörer weitere Laute hört, bleiben nur diejenigen Wörter aktiviert, die ebenfalls diese Lautkombinationen besitzen, bis schließlich nur noch das Zielwort übrig bleibt (Marslen-Wilson und Tyler, 1980; Marslen-Wilson und Welsh, 1978). Ein möglicher Aufbau des Modells ist in Abbildung 3.3 zu sehen. Evidenzen für die gleichzeitige Aktivierung phonetisch ähnlicher Wörter gibt es bei Kleinkindern im Erstspracherwerb, deren Fokussierung mit den Augen auf einen abgebildeten Gegenstand bei einem zuvor genannten phonologisch ähnlichen Wort kürzer waren als bei einem nicht ähnlichen Wort (Mani und Plunkett, 2011). Dies lässt darauf schließen, dass phonetisch ähnliche Wörter gleichzeitig aktiviert werden. Daher benötigt das Kind eine kürzere Fokussierung, um den Gegenstand auf dem Bild zu identifizieren. Bei Erwachsenen konnten Reaktionszeiten in einem Nichtwort-/Wort-Entscheidungstest in Abhängigkeit von dem Punkt, an dem ein Wort eindeutig phonologisch erkannt

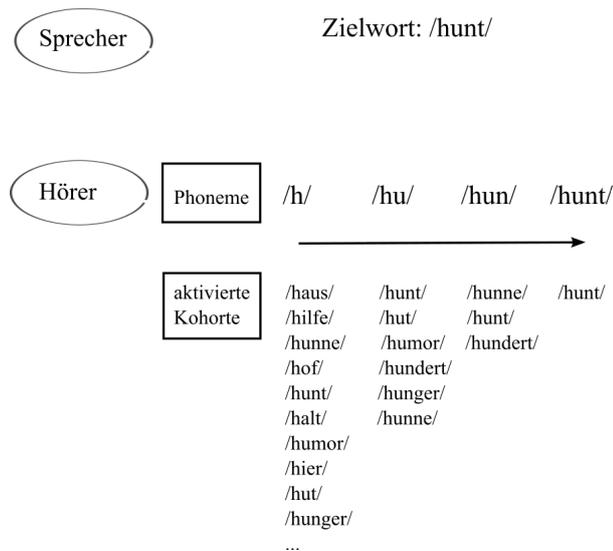


Abbildung 3.3: Darstellung des Kohortenmodells am Beispiel des Zielwortes Hund /hunt/. In Anlehnung an Aitchison (1997), S.284, Abb. 18.3.

werden kann, gefunden werden (Taft und Hambly, 1986).

3.2.2 Psycholinguistisches Modell: Das Logogen-Modell

In vielen Tests, die die Sprachverständlichkeit untersuchen, findet das Überprüfen durch einfaches Nachsprechen des Gehörten (eines Satzes / Wortes) statt. Dass Nachsprechen auch möglich ist, ohne die Bedeutung eines Wortes erfassen zu können, zeigen Sprachstörungen wie Aphasien, bei denen einzelne sprachliche Modalitäten gestört sein können, andere aber noch erhalten sind (Lutz, 2004). Dabei muss die Semantik nicht erfasst werden, jedoch kann ein Abgleich des auditiv gehörten mit dem gespeicherten Perzept im Lexikon stattfinden und dann die entsprechende sprechmotorische Bewegung gestartet werden.

Zur Erklärung für die Vorgänge beim Nachsprechen von Wörtern wird ein psycholinguistisches Modell erläutert. Das Logogen-Modell in der Form, wie es auch von de Bleser et al. (2004) und Stadie (2009) verwendet wird und welches auch zum Nachsprechen von Wörtern gut geeignet ist, wurde hierfür ausgewählt. Denn dieses Modell diente bereits sehr erfolgreich als Grundlage für die Erstellung einer klinischen Testbatterie mit monomorphematischen Wörtern für Sprachstörungen (Le-Mo, de Bleser et al. (2004)). Es ist somit auch anwendungsbezogen einsetzbar. Der für diese Arbeit relevante Teil des Modells betrifft das Nachsprechen von gehörtem Sprachmaterial (vgl. Abb. 3.4). Die auditive Analyse beginnt mit dem Halten der auditiven Information im auditiven Input-Buffer. Dieser ist eine Art Speicher und

in ihm wird das Gehörte gehalten. Danach kann die Analyse über zwei Wege erfolgen: Einer dieser Wege verläuft direkt zum phonologischen Output-Buffer (Rickheit et al., 2010, S. 68). Mittels Übertragung von Input- in Output-Phoneme geht er direkt über die sublexikalische Route, die so heißt, weil hier keinerlei Information aus den Lexika abgerufen wird. Die Übertragung von Input- in Output-Phoneme nennt man auch auditiv-phonologische Konversion (APK). Der zweite Weg geht über die Lexika, angefangen beim phonologischen Input-Lexikon (Rickheit et al., 2010, S. 68). Hier sind Informationen über die Wortform gespeichert, z.B. metrische Informationen. Danach kann über das semantische System auf inhaltliche Bedeutungen zugegriffen werden. Von hier führt der Weg zum phonologischen Output-Lexikon, in dem Informationen über die Wortform abgespeichert sind (diesmal für die Produktion). Die nächste Stufe ist der phonologische Output-Buffer, in dem die Information über das zu produzierende Wort kurz gespeichert wird, bevor dieses dann tatsächlich ausgesprochen wird. In anderen Versionen des Logogen-Modells wird noch eine Rückkopplungsschleife eingefügt, die den inhaltlichen Abgleich des phonologischen Output-Buffers mit dem phonologischen Input-Buffer ermöglicht (Stadie, 2009).

3.3 Wiedergabe von Wörtern in Listen und Sätzen

Sprachverarbeitung, egal, ob sie auf Wort- oder auf Satzebene stattfindet, ist abhängig von der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und der (selektiven) Aufmerksamkeit (Carroll, 2013a, S. 35). Beim Erinnern von Worten, Sätzen und Listen, dem sogenannten *Recall* wird erwartet, dass aufgrund des Primär- und Rezenzefekts das erste und das letzte Wort öfter richtig wieder gegeben werden können als die restlichen Wörter. Bei der mittleren Position beim Listenrecall sollte es einen Abfall der relativen Häufigkeiten richtiger Antworten geben, da hier die Aufmerksamkeit besonders niedrig ist (Jones und Oberauer, 2013; Oberauer, 2003).

Im Folgenden wird hauptsächlich auf das unmittelbare Nachsprechen und Wiederholen von Wörtern in einer Liste und in Sätzen eingegangen werden. Dies sind unmittelbare serielle Recall-Aufgaben (*immediate serial recall*), bei denen die Reihenfolge des Wiedergebens einer Liste oder eines Satzes wichtig für die Bewertung ist. Dies sind auch sogenannte *passive Speicheraufgaben*, bei denen der Proband das präsentierte Material nicht verändern soll, sondern es so wiedergeben soll, wie es ihm präsentiert wurde (Vecchi und Richardson, 2005). Dies entspricht am ehesten der Aufgabenstellung von den in dieser Arbeit vorgestellten psychoakustischen Sprachverständlichkeitstests. Reine Satzwiederholungstests in Ruhe werden in der klinischen Routine eingesetzt, um das phonologische Arbeitsgedächtnis zu überprüfen und eventuelle Defizite z.B. nach einem Schlaganfall bei Erwachsenen oder spezifischen Sprachentwicklungsstörungen im Kindesalter aufzudecken

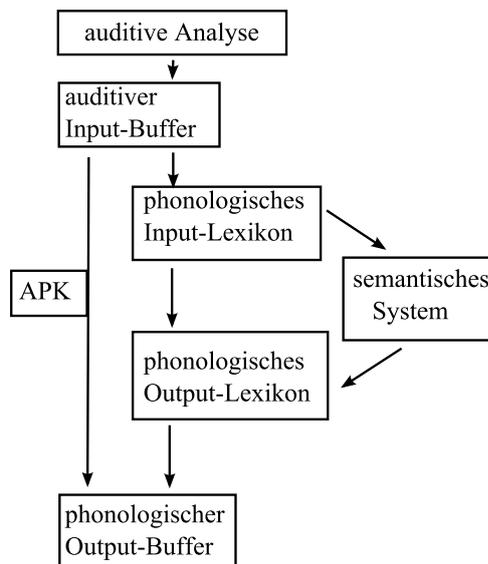


Abbildung 3.4: Das Logogen-Modell in der Darstellung nach Stadie (2009), S.19, Abb. 2.1 und in Anlehnung an Rickheit (2002), S. 95, Abb. 13. Gezeigt werden nur die Komponenten der auditiven Analyse des Modells. Die visuelle Analyse und damit auch die Verbindungen zwischen auditiver und visueller Analyse werden hier nicht dargestellt. Die auditive Analyse beim Nachsprechen eines Wortes beginnt im auditiven Input-Buffer. Von dort aus gibt es zwei Möglichkeiten der Verarbeitung. Ein Weg führt direkt über die auditiv-phonologische Konversion (APK) zum phonologischen Output-Buffer. Der andere Weg führt über das phonologische Input-Lexikon. Entweder kann direkt nach dem Abrufen von Informationen über die Wortform auf das phonologische Output-Lexikon zugegriffen werden, um Informationen für die Produktion zu aktivieren. Oder es wird die semantische Information des Wortes im semantischen System aktiviert. Die letzte Station ist schließlich der phonologische Output-Buffer, in dem das zu produzierende Wort vor dem Nachsprechen kurz gehalten wird.

und um Therapien individuell anpassen zu können. Bei diesen Aufgaben geht es auch um kognitive Fähigkeiten, nämlich das Behalten von Wörtern im sogenannten Kurzzeitgedächtnis. Miller (1956) postulierte die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses mit der „magical number 7 plus minus two“ auf eine Spanne von fünf bis neun Einheiten, mit dem Begriff *Chunks* wird das Zusammenfassen einzelner Untereinheiten (etwa Phonemen) zu einer größeren Einheit (Silben) bezeichnet. Die Anzahl von kurzen Wörtern, die wiedergegeben werden können, ist höher als die von langen. Dieses Phänomen wird als *Wortlängeneffekt* bezeichnet (Baddeley et al., 1975). Sind die zu merkenden Wörter phonologisch ähnlich, so sind diese schwerer zu behalten als unähnliche Wörter (*akustischer Ähnlichkeitseffekt*) (Schuchardt, 2008).

Da in dieser Arbeit Ergebnisse zur Wiedergabe von Wörtern in Listen, von Wörtern in Sätzen und von Listen im Störgeräusch vorgestellt werden, soll im Folgenden ein Überblick über die in der Literatur bisher gewonnenen Ergebnisse gegeben werden.

Wiedergabe von Wörtern in Listen: Sind in einer Wortliste mehrere Nomen hintereinander präsentiert, so können sich Probanden diese Listen besser merken als Listen von anderen Wortarten oder Listen von Kombinationen von Wortarten (Stanners, 1969). Bei Wortlisten, bestehend aus 18 Wörtern, wobei diese jeweils mit sechs Adjektiven, sechs Nomen und sechs Verben besetzt waren, die Positionen ausgewogen mit unterschiedlichen Wortarten besetzt wurden, konnten sich Probanden in 79 % der Fälle die Positionen am Anfang (1-3) und am Schluss (12-18) besser als die anderen merken (Stanners, 1969). Simpson und Klippert (1968) fanden einen Unterschied von Wortarten beim Merken von langen Wortlisten (bestehend aus 30 Wörtern), nicht jedoch bei kurzen. Allerdings merken die Autoren an, dass es dennoch einen Wortarteneffekt bei kurzen Listen geben kann, die genutzten Methoden aber eventuell nicht geeignet waren, um diese zu detektieren. Ein Vorschlag, wie ein solches Experiment aufgebaut werden sollte, wird allerdings nicht gemacht.

Baddeley et al. (1975) testeten die Wiedergabe von Listen, die aus vier einsilbigen Wörtern bestanden. Die Probanden konnten alle Listen richtig wiedergeben. Bestanden die Listen jedoch aus fünf einsilbigen Wörtern, so konnten nur noch 80 % der Listen korrekt wiedergegeben werden. Wurde die Silbenanzahl von ein- auf zweisilbige Wörter erhöht, so konnte besonders die erste und die zweite Position gut gemerkt werden. Bestand die Liste aus fünf dreisilbigen Wörtern, konnten insgesamt nur noch 30% der Listen korrekt wiedergegeben werden (Baddeley et al., 1975).

Wiedergabe von Wörtern in Sätzen: Die Menge der richtig wiedergegebenen Wörter in Ruhe hängt davon ab, ob es sich um das Wiedergeben einer nicht syntaktisch zusammenhängenden Wortliste oder um Sätze handelt (Rummer und Schrobildgen, 2000). Die Anzahl an Einheiten in Sätzen ist doppelt so hoch wie in Wortlisten

(Alloway und Gathercole, 2005): Bei Sätzen können mehr als 12 Wörter behalten werden (Butterworth et al., 1990). Werden Wörter in einem Satz gemerkt, so spielt allerdings auch die syntaktische Komplexität eine Rolle; Martin et al. (1968) konnten feststellen, dass sich bei komplexeren Sätzen der Fokus auf Schlüsselemente des Satzes legt, also Agens und Patiens. Als die schwierigsten Wortklassen im Satz identifizierten eben genannte Autoren Adverben, Adjektive und Auxiliare. Es wird angenommen, dass auch Informationen, die nicht rein syntaktisch sind, das Satzverstehen beeinflussen können (Huettig und McQueen, 2007). Phonologie und Morphosyntax spielen bei der unmittelbaren wörtlichen Wiederholung von gehörten Sätzen eine wichtige Rolle (Polišenská et al., 2014). Wohlgeformte Sätze verbessern die Wiederholungsleistung bei Kindern. Plausibilität von Sätzen beeinflusst die Leistung von Erwachsenen weniger stark als die Grammatikalität, auch hat die Prosodie einen leicht positiven Einfluss auf die Wiederholungsleistung von Sätzen (Polišenská et al., 2014). Ebenso wie die Prosodie hat die Wortlänge (gemessen in Silben) einen Einfluss auf den seriellen Recall (Engelkamp und Rummer, 1999). Der Vergleich der Leistung von tschechisch- mit englischsprachigen Kindern zeigte, dass die Beeinflussung der linguistischen Faktoren auf die Wiederholungsleistung sehr ähnlich und damit auch sprachübergreifend vorhanden ist (Polišenská et al., 2015), zumindest in den hier getesteten Sprachen.

Der Abruf konzeptueller Information erfolgt hauptsächlich bei der visuellen Satzpräsentation mit unmittelbarem Recall und ist kaum nachzuweisen bei auditiver Darbietung, hier scheint hingegen die phonologische Repräsentation eine wichtige Rolle zu spielen (Rummer und Schrobildgen, 2000). Alloway und Gathercole (2005) untersuchten den Satzrecall in Ruhe bei Kindern mit guten und schlechten phonologischen Kurzzeitgedächtnisfähigkeiten bei Sätzen von sechs bis neun Wörtern. Beide Gruppen zeigten ein ähnliches Profil für die Positionen, die richtig behalten wurden, jedoch auf einem unterschiedlichen Niveau. Die Fehler in Sätzen waren meistens derartig, dass zwar der Inhalt des Satzes erhalten blieb, die Wörter jedoch verändert wurden (Alloway und Gathercole, 2005). Die serielle Positionsfunktion bei Sätzen sollte ähnlich wie bei Listen aussehen: hoher Anteil an korrekter Wiedergabe am Anfang, niedriger Anteil in der Mitte und kein so hoher Anteil am Ende, verglichen mit dem Anteil am Anfang (Alloway und Gathercole, 2005). Dies bestätigten die Ergebnisse, die Kinder zeigten das größte Behalten von Wörtern am Satzanfang beim Testen in Ruhe, d.h. ohne Störgeräusch (Alloway und Gathercole, 2005).

Wiedergabe von Listen, die mit einem Störgeräusch präsentiert wurden: Einfache Recallaufgaben ohne Störungen sind nur schwach mit dem Arbeitsgedächtnis korreliert (Oberauer et al., 2000). Wird jedoch Wortmaterial im Rauschen präsentiert, so führt dies nicht zu einer Gedächtnisspanneneinbuße, im Gegensatz zur Präsentation von Sprachmaterial als Störgeräusch (Schuchardt, 2008, S. 9). Unterscheiden

sich die präsentierte Sprache und das Rauschen in der Modalität (visuell und auditiv), so ist der Effekt von Rauschen auf Recall-Aufgaben unabhängig vom Pegel des Rauschens (Banbury et al., 2001). Dabei ist die Modalität der Präsentation entscheidend: Bei auditiver Präsentation gibt es einen Effekt der phonetischen Ähnlichkeit, der jedoch bei visueller Präsentation verschwindet (Baddeley et al., 1975). Ein analog zum englischen SPIN-Test in der Schweiz entworfener Satzverständlichkeitstest fürs Deutsche (Tschopp und Züst, 1994) verwendet fünf- bis neunsilbige Sätze. Diese enden mit leicht oder schwer vorhersagbaren Wörtern. Sätze, deren Ende leichter zu erraten war, waren unabhängig vom Hörverlust besser verständlich als die Sätze mit schwierig zu erratenden Wörtern. Dies zeigt, dass der semantische Kontext für die Satzverständlichkeit unter schwierigen Umständen hilfreich genutzt werden kann.

Die in diesem Abschnitt dargelegten Ergebnisse zeigen, dass für die Auswahl von Sprachstimuli immer auch modelltheoretische Annahmen und Evidenzen aus Studien dazu hinzugezogen werden sollten. Denn diese helfen, geeignete Wörter und eine passende Zusammenstellung der Wörter zu finden.

Kapitel 4

Sprachverständlichkeitstests im Deutschen

Nachdem im letzten Kapitel die sprachwissenschaftlichen Grundlagen für die Sprachverständlichkeit geklärt wurden, geht es im folgenden Kapitel um das Testen der Sprachverständlichkeit. Die Getesteten müssen das, was ihnen vorgespielt oder vorgesprochen wird, nachsprechen oder aus mehreren Antwortmöglichkeiten auswählen.

4.1 Sprachverständlichkeitstests und deren Konzeption

4.1.1 Möglichkeiten zur Ermittlung der Wort- und Satzverständlichkeit im Deutschen

Bereits im 19. Jahrhundert wurde Sprache systematisch eingesetzt, um den Hörverlust von Menschen genauer beschreiben zu können (Feldmann, 2004), so stellte auch Bezold im Jahr 1897 die Bedeutung von Sprache zur Überprüfung des Hörvermögens heraus (vgl. Zitat zu Beginn dieser Arbeit von Bezold (1897)). Die Sprachaudiometrie in Deutschland wurde 1953 durch Karl-Heinz Hahlbrock mit dem „Freiburger Einsilbertest“ (Hahlbrock, 1953) begründet (Feldmann, 2004). Dieser Test kommt auch heute noch vielfach zur Anwendung (Kiessling, 2000), um die Sprachverständlichkeit von einsilbigen Wörtern ohne Störgeräusch, also in Ruhe, zu testen, obwohl er häufig kritisiert wurde, z.B. wegen fehlender Testlistenäquivalenz und unnatürlicher Artikulation (Kiessling et al., 1994).

Für die klinische Anwendung wurden im Laufe der Zeit weitere Tests konzipiert, die mit unterschiedlichem Sprachmaterial arbeiten (ein Überblick über die Tests ist in Tabelle 4.1 zu finden). Dies beruht auch auf unterschiedlichen Herangehens-

weisen: So erstellten Jakobi und Ackermann (1982) einen sprachübergreifenden Logatomtest, der geeignet sein soll, Patienten mit unterschiedlicher Muttersprache zu testen, während Sotschek (1982) in seinen Analysen zur Phonemähnlichkeit verschiedener Sprachen zum Schluss kommt, dass aufgrund der Differenzen zwischen den Sprachen kein zufriedenstellendes gemeinsames sprachübergreifendes Phoneminventar gefunden werden kann. Daraufhin konzentriert er sich für die Erstellung seines Reimtests allein auf die deutsche Sprache (Sotschek, 1982).

Tests auf Phonemebene wie der „Logatomtest nach Jakobi“ (Jakobi und Ackermann, 1982), die „MAC-Batterie“ (Spillmann und Dillier, 1986), der „Kieler Logatomtest“ (Müller-Deile et al., 1994) oder anderes Logatomtestmaterial, wie das „Oldenburger Logatom Korpus“ (Wesker et al., 2005) haben den Nachteil, keine alltagsnahe Situation abzubilden. Allerdings haben diese aber den Vorteil, die Verständlichkeit unabhängig vom Wortschatzwissen zu testen. Doch auch das Lautvorkommen in einer Sprache ist spezifisch und nicht universell, so sind diese Tests trotzdem nicht sprachunabhängig.

Auch am Ursprungstest der deutschen Sprachaudiometrie wird Kritik geübt: So wird am Freiburger Einsilbertest (Hahlbrock, 1953) sein unausgewogenes Sprachmaterial hinsichtlich der Bekanntheit bemängelt (Kiessling, 2000). Es folgten weitere Tests auf Wortebene. Der „Einsilber-Reimtest“ nach Sotschek (Sotschek, 1982) diente als Vorlage für den „WaKo“ (Wallenberg und Kollmeier, 1989), ein „Zweisilber-Reimtest“ wurde von Kliem vorgestellt (Kliem, 1993). Zwischen dem Einsilber-Reimtest nach Wallenberg und Kollmeier (1989) und dem Freiburger Einsilber- und Zahlentest nach Hahlbrock (1953) und Hahlbrock (1954) besteht ein hochsignifikanter Zusammenhang (Holube und Kollmeier, 1994).

Während Einsilbertests in Ruhe für die Bestimmung von Diskriminationskurven gut geeignet sind, dienen Satztests der Ermittlung der Sprachverständlichkeitsschwelle im Störgeräusch (Kiessling, 2000). Bereits im Jahr 1979 entwickelten Plomp und Mimpen (1979) einen Satztest, der aus 10 Listen von jeweils 13 Sätzen besteht. Tests auf Satzebene im Deutschen, wie der „Marburger Satztest“ (Niemeyer und Beckmann, 1962; Blumbach, 1966) oder der „Göttinger Satztest“ (Wesselkamp, 1994; Kollmeier und Wesselkamp, 1997) wollen eine häufig im Alltag auftretende Situation überprüfen: Die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch. Da die bereits genannten Satztests einige Schwächen aufweisen, wie das leicht auswendig zu erlernende Satzmaterial, weil es zum Beispiel aus Redewendungen, Sprichwörtern und wenigen Sätzen besteht (Kiessling et al., 1994), wurde der „Oldenburger Satztest (OLSA)“ (Wagener et al., 1999a,b,c) entworfen. Dieser besteht in Anlehnung an den schwedischen Matrixtest von Hagermann (1982) und Hagermann und Kinnefors (1995) aus Listen von 5-Wort-Sätzen. Diese Sätze werden durch Kombination von fünf Wörtern gebildet, wobei jedes dieser fünf Wörter aus einer Liste von 10 Wörtern zufällig ausgewählt wurde. Diese Konstruktion von Matrixsätzen

wird erfolgreich für die Überprüfung der Satzverständlichkeit genutzt, so dass das Konzept des Matrix-Satztests auch in andere Sprachen übertragen wurde.¹ Die Durchführung des OLSAs ist im deutschsprachigen Raum für die Überprüfung der Satzverständlichkeit im Störgeräusch bei CI-Trägern empfohlen (Müller-Deile, 2009). Es gibt zahlreiche Untersuchungen, bei denen das Störgeräusch oder die räumliche Präsentation von Sprache und Rauschen variiert wird (Rader et al., 2008, 2012; Spille et al., 2013; Weissgerber et al., 2015; Zirn et al., 2016). Jedoch gibt es keine Untersuchungen, bei der das Sprachmaterial an sich verändert wird. Von Uslar et al. (2013b) wurde neues Sprachmaterial, die „Oldenburger linguistisch und audiologisch kontrollierten Sätze (OlakS)“ entworfen. Die Wortauswahl erfolgte sowohl unter Hinzunahme von Wortvorkommenshäufigkeiten als auch syntaktischen Gesichtspunkten. Die Sätze bestehen aus sieben bis neun Wörtern und sind hinsichtlich ihres Satzbaus ausgewogen konstruiert. Diese Sprachstimuli werden bisher jedoch noch nicht im klinischen Alltag eingesetzt, sondern hauptsächlich für Forschungszwecke genutzt (Uslar et al., 2013a).

4.1.2 Korpora für die Auswahl der Sprachstimuli der Sprachverständlichkeitstests

Die Auswahl des Sprachmaterials ist eine wichtige Grundlage bei der Konzeption von Sprachverständlichkeitstests. Die meisten Tests im Deutschen ziehen als Referenzdaten für die Phonemverteilung für die deutsche Sprache die statistische Auswertung der Laute von Meier (1964) heran (insbesondere die Seiten 250f.). Seit Meier wurden noch weitere Auswertungen zur Vorkommenshäufigkeit der deutschen Sprache vorgenommen, hier nicht aufgeführt sind Korpora, die sich in der Auswertung nur mit einem eingeschränkten Teil der Gegenwartssprache beschäftigen, etwa nur mit Einsilbern wie bei Hirsch-Wierzbicka (1971). Eine etwas jüngere Auswertung der Phonemhäufigkeit im Deutschen ist die Auswertung von Hug (1979). Während Meier (1964) in seiner detaillierten Auswertung der deutschen Sprache auch auf das bereits vorhandene Korpus von Kaeding aus dem Jahr 1897 (Kaeding, 1897) zurückgreift, beschränkt sich Hug (1979) auf Texte des 20. Jahrhunderts von Mann, Böll und Götz für die Auswertung. Meier bezieht sich in seinem umfassenden Werk auf die Sprachstatistik von Kaeding von 1897 / 1898, analysiert aber nicht nur schriftsprachliche Texte, sondern auch Filmdialoge, um Aussagen über gesprochene Sprache zu treffen (Meier, 1964, S. 273ff.). Dadurch war das Werk von Meier lange Zeit Standard, wenn Sprachstimuli für Sprachverständlichkeitstests ausgewählt wurden und auch bei erst in jüngster Vergangenheit

¹Für einen Überblick über Matrixtests in anderen europäischen Sprachen vgl. Carroll (2013a, S. 12).

erstellten Tests wird es als Referenz herangezogen (vgl. Tab. 4.1). Aber auch viele jüngere Wortschatzanalysen berufen sich noch auf Meiers Werk: so z.B. Jakobi und Ackermann (1982) und Best (2005).

Zählte Meier noch alles von Hand aus, wird schon im Geleitwort seines Buches von Mackensen angemerkt:

„Der nächste, der sich der Kaeding= und Meierschen Probleme annimmt, wird sich einer Großrechenanlage bedienen.“ (Mackensen in Meier (1964), S.V.)

Mit CELEX, einer Datenbank für das Englische, Niederländische und das Deutsche, wird der von Mackensen prophezeite Schritt auf die Großrechenanlage vollzogen. Dadurch wurden eine Vielzahl an Recherchemöglichkeiten für die Vorkommenshäufigkeiten von Wörtern in einem sehr großen Korpus geschaffen (für das Deutsche sechs Millionen Worteinträge), welches sowohl auf CD-ROM (Baayen et al., 1995) als auch teilweise online abrufbar ist. Im deutschsprachigen Raum gibt es in jüngster Zeit viele Projekte zu sprachstatistischen Auswertungen des Instituts für deutsche Sprache (IDS) in Mannheim, die den großen Vorteil haben, dass sie online abrufbar sind und auch ständig erweitert werden. Dadurch können sie aktuell gehalten werden, so etwa das deutsche Referenzkorpus DeReKo. Dies umfasst die größte Sammlung deutscher schriftsprachlicher Texte (Institut für Deutsche Sprache (IDS), 2015a) und den auf dem Stand des DeReKo von 2012 basierenden deutschen Referenzwortschatz DeReWo (Institut für Deutsche Sprache (IDS), 2012). Für gesprochene Sprache bietet das IDS Mannheim die Datenbank für gesprochene Sprache (DGD) an, bei dem man Zugriff auf 21 Korpora der Lautsprache hat (Institut für Deutsche Sprache (IDS), 2015b). Ebenfalls eine Sammlung von Sprachdaten findet sich im Bayerischen Archiv für Sprachsignale (BAS) (Schiel, 2014). In Tabelle 4.2 sind die genannten Korpora zusammengefasst. Tabelle 4.1 zeigt Sprachverständlichkeitstests im Deutschen und ihre zugrunde liegenden Korpora.

Tabelle 4.1: Eine Auswahl von Sprachverständlichkeitstests im Deutschen, geordnet nach der getesteten sprachlichen Ebene, beginnend bei der Lautebene bis hin zur Satzebene. Aufgeführt ist das jeweils für die Auswahl der Sprachstimuli genutzte Korpus.

Test	Autor (Jahr)	Korpus	Bemerkungen
Getestete Sprachebene: Lautebene / Silbenebene			
Oldenburger Logatom Korpus (OLLO)	Wesker et al. (2005)	keine Angaben	Testen von Einzellauten in gleichbleibenden Lautumgebungen, 40 verschiedene Sprecher, 5 verschiedene Sprechweisen. Keine standardisierte Testanleitung, für Forschungszwecke vorgesehen.

Tabelle 4.1: Eine Auswahl von Sprachverständlichkeitstests im Deutschen, geordnet nach der getesteten sprachlichen Ebene, beginnend bei der Lautebene bis hin zur Satzebene. Aufgeführt ist das jeweils für die Auswahl der Sprachstimuli genutzte Korpus.

Test	Autor (Jahr)	Korpus	Bemerkungen
Logatomtest nach Jakobi	Jakobi und Ackermann (1982)	Meier (1964), und Vorarbeiten von Meier. Mit Änderungen von Schubert (1952)	Sprachübergreifend aufgestellter Logatomtest, zumindest im Konsonantenteil, daher auch bei Nicht-Deutsch-Muttersprachlern anwendbar (Jakobi und Ackermann, 1982), heute nicht mehr / selten in Anwendung
Kieler Logatomtest	Müller-Deile et al. (1994)	keine Angaben	Erkennen von Frequenzbänderzuordnungsproblemen, Hilfe für logopädische Behandlung (Müller-Deile, 2009)
MAC-Batterie	Spillmann und Dillier (1986)		Durchführung in Ruhe und Störgeräusch
Getestete Sprachebene: Wortebene			
Freiburger Einsilbertest	Hahlbrock (1953) , Hahlbrock (1954)	Meier (1964) berichtet von seiner Beratung bei der Wortauswahl	Test in Ruhe. Wiederholbarkeit problematisch, da Wortmaterial gut zu merken. Testlistenäquivalenz nicht vorhanden. Geläufigkeit der Einsilber sehr unterschiedlich (Löhler et al., 2013)
Freiburger Zahlentest	Hahlbrock (1953)	Meier (1964) berichtet von seiner Beratung bei der Wortauswahl	Deckeneffekt, da Zahlen leicht zu erraten sind (Müller-Deile, 2009). Test in Ruhe, nutzbar für die Empfindlichkeitseinstellungen bei Hörgeräten (Müller-Deile, 2009).
Reimtest nach Sotschek	Sotschek (1982), digitalisierte Form: Kollmeier et al. (1988)	Kaeding (1898) und Ergänzungen um einsilbige Wörter aus dem 20. Jh. (Meier, 1964)	Zeitaufwändige Durchführung, gut ausgewähltes Testmaterial
Zweisilber Reimtest	Kliem (1993), Kliem und Kollmeier (1994)	Meier (1964) in der zweiten Auflage von 1967	Männlicher und weiblicher Sprecher, Minimalpaargruppen für Konsonanten und Vokale (je 4 Wörter)
WAKO	Wallenberg und Kollmeier (1989)		Modifizierter Sotschek-Reimtest

Tabelle 4.1: Eine Auswahl von Sprachverständlichkeitstests im Deutschen, geordnet nach der getesteten sprachlichen Ebene, beginnend bei der Lautebene bis hin zur Satzebene. Aufgeführt ist das jeweils für die Auswahl der Sprachstimuli genutzte Korpus.

Test	Autor (Jahr)	Korpus	Bemerkungen
Getestete Sprachebene: Satzebene			
Oldenburger Satztest (OLSA)	Wagener et al. (1999a), Wagener et al. (1999c), Wagener et al. (1999b)	Vornamen: Mackensen (1982), restliche Wörter: Meier (1964)	Wiederholbarkeit und Listenunabhängigkeit, Lerneffekt (Müller-Deile, 2009), relativ langsame Sprechgeschwindigkeit
Oldenburger Linguistisch kontrollierte Sätze (OlakS)	Carroll (2013a)	Meier (1964), Hofmann et al. (2007), basierend auf CELEX (Baayen et al. 1995)	Bisher nur für Forschungszwecke genutzt. Kontrolliertes Sprachmaterial hinsichtlich Vorkommenshäufigkeit und syntaktischer Struktur.
Marburger Satztest	Niemeyer und Beckmann (1962), Blumbach (1966)	Sprachmaterial von Meier, dem Autor von Meier (1964) erstellt.	Sprachmaterial besteht aus unterschiedlichen Sätzen: Ausrufe, Satzfragmente und koordinierende Sätze. Gleicher Sprecher wie beim Freiburger Einsilber- und Zahlentest.
Göttinger Satztest	Wesselkamp et al. (1992), Wesselkamp (1994), Kollmeier und Wesselkamp (1997)	Meier (1964)	Sätze unterschiedlicher syntaktischer Art: Fragen, Ausrufe, Sprichwörter, schnelle Sprechgeschwindigkeit, Alltagsnahe Sätze, Weiterentwicklung des Marburger Satztests
HSM-Satztest	Hochmair-Desoyer et al. (1997)	Sätze des alltäglichen Lebens. Keine weiteren Angaben.	Explizit für CI-Träger entwickelt. Normale Sprechgeschwindigkeit, große Lerneffekte

Für die Auswahl der Sprachstimuli der oben genannten Sprachverständlichkeitstests wurde im Wesentlichen die Sprachstatistik von Meier (1964) herangezogen, die auf der Vorkommenshäufigkeit einzelner Laute basiert. Das Vorkommen von Phonemclustern, Silben oder Wörtern wurde nicht beachtet. Allerdings kann gerade die Häufigkeit, mit der ein Wort auftritt, einen Einfluss auf dessen Verständlichkeit haben. Denn es wird davon ausgegangen, dass die Vorkommenshäufigkeit für den Abruf von Wörtern eine Rolle spielt (Aitchison, 1997). Ein Test, der nicht nur die Phonemvorkommenshäufigkeit berücksichtigt, sondern auch die Vorkommenshäufigkeit der Wörter nach Baayen et al. (1995) heranzieht, ist der OlakS.

Tabelle 4.2: Zeitlich aufsteigend gelistet sind Werke, denen statistische Angaben zu Merkmalen der deutschen Sprache entnommen werden können. Jeweils aufgeführt sind Autoren, Jahr, Vorgehen (falls genannt) und die der jeweiligen Auswertung zugrunde liegenden Sprachdaten und Anmerkungen.

Name/ Autor (Jahr)	Vorgehen	Korpus	Anmerkungen
Meier (1964)	„100.000 Laute-Zählung“, umfassende Statistiken zu Silbenanzahl, Wortvorkommen, Phoneminventar des Deutschen.	Analyse Schriftsprache: Klassische Texte („gehobene Kunstprosa“ (Meier, 1964, 273), z.B. Goethe) (S.249ff.), Korpus von Kaeding (1897), Analyse der Lautnachbarschaften gesprochener Sprache (S.273ff.) in Filmdialogen	Das Korpus basiert auf sehr alten Texten, mittlerweile nicht mehr zeitgemäß. Ergebnisse zu den Vorkommenshäufigkeiten der Phoneme in der heutigen Sprache könnten sich unterscheiden.
Hug (1979)	Phonemverteilung im Dt. und Frz.; detaillierte Beschreibung der Phonemtranskription. Unterteilung in 21 Konsonanten und 19 Vokale (S. 109f.)	Fürs Dt.: Schriftspr. Stücke dreier deutscher Autoren des 20. Jh. (1947-1961) transkribiert. Insgesamt 5000 Vokale und 5000 Konsonanten.	Keine Analyse der mdl. Sprache.
Jakobi und Ackermann (1982)	Vergleich von Phonemhäufigkeiten in versch. Sprachen. Konsonantenhäufigkeiten ähnlich in den versch. Sprachen, Vokale unterschiedlich.	Für das Dt: Meier (1964) und Anmerkungen von Schubert (1952)	Unklar, welche Phoneme der einzelnen Sprachen genommen werden, sprachspez. Laute, z.B. /sch/ werden nicht beachtet. Unklar, ob schriftspr. Analyse oder mdl. Texte genutzt werden. Analyse mit bereits bestehendem Korpus.

Tabelle 4.2: Zeitlich aufsteigend gelistet sind Werke, denen statistische Angaben zu Merkmalen der deutschen Sprache entnommen werden können. Jeweils aufgeführt sind Autoren, Jahr, Vorgehen (falls genannt) und die der jeweiligen Auswertung zugrunde liegenden Sprachdaten und Anmerkungen.

Name/ Autor (Jahr)	Vorgehen	Korpus	Anmerkungen
CELEX: (Baayen et al., 1995)	CELEX: Große deutsch-, englisch- und niederländischsprachige Datenbank mit einer Vielzahl von Analysemöglichkeiten: z.B. Wortvorkommen pro Millionen Wörter, Silbenbeschaffenheit, Phonem- und Graphemzusammensetzung der Wörter.	Das deutsche Korpus umfasst insgesamt 6 Mio. Worteinträge; 5.400.000 schriftl. und 600.000 mdl.; 365.530 Wortformen (type). Zusammengesetzt aus Mannheim-Korpus I u II, Bonner Zeitungskorpus I, Freiburger Korpus (zw. 1949-1975), Webversion (http://www.mpi.nl-/world/celex).	Älter als 20 Jahre; wird nicht mehr erweitert und aktualisiert.
Best (2005)	Evaluation des Modells von Altmann (1993) mit der Lautvert. des Dt. nach Meier (1964)	Meier (1964)	Kein neues eigenständiges Korpus, da Analyse mit bereits vorhandenem erfolgt.
DeReWo: (Institut für Deutsche Sprache (IDS), 2012): Korpusbasierte Wortgrundformenliste DeReWo	Basiert auf DeReKo (Institut für Deutsche Sprache (IDS), 2015a).	5 Milliarden Einträge, Basiert auf dem DeReKo - Archiv Stand Mitte 2012 (DeReKo 2012) (Institut für Deutsche Sprache (IDS), 2015a). Es erfolgt eine Einteilung in Häufigkeitsklassen.	Nur Auskunft über Schriftsprache.
Bayerisches Archiv für Sprachsignale (BAS) (Schiel, 2014)	Sammlung von mdl. Sprachdaten	Korpora gesprochener Sprache seit 1995	

Tabelle 4.2: Zeitlich aufsteigend gelistet sind Werke, denen statistische Angaben zu Merkmalen der deutschen Sprache entnommen werden können. Jeweils aufgeführt sind Autoren, Jahr, Vorgehen (falls genannt) und die der jeweiligen Auswertung zugrunde liegenden Sprachdaten und Anmerkungen.

Name/ Autor (Jahr)	Vorgehen	Korpus	Anmerkungen
DeReKo: (Institut für Deutsche Sprache (IDS), 2015a)	Größte Sammlung deutschsprachiger Korpora schriftsprachlicher Texte; Ständige Erweiterung des zugrunde liegenden Sprachmaterials	Weltweit größte deutschsprachige Sammlung schriftsprachlicher Texte (z.B. Zeitungsartikel, Belletristik). Stand 2014: 25 Milliarden Einträge, erfasst den Zeitraum ab 1949.	Schriftsprachliche Korpora; Nur absolute Häufigkeiten, keine relativen Häufigkeiten bzw. keine Werte über Vorkommen in einer bestimmten Menge möglich.
Datenbank für gesprochenes Deutsch (DGD) (Institut für Deutsche Sprache (IDS), 2015b)	Sammlung von 21 Korpora von gesprochenem Deutsch; Unterschiedliche Arten der Aufnahmen: z.B. vorlesen, Interviews, natürliche Gesprächssituationen	Älteste Aufzeichnung reicht bis 1955 zurück, die Korpora, die in dieser Datenbank zusammen gestellt sind, erfassen die Gegenwartssprache.	Frequenzangaben nicht in allen 21 Korpora möglich.

4.2 Auswahl von Stimulusmaterial und Sprachverständlichkeitstests für weiterführende Experimente

Die Experimente, die in den folgenden Kapiteln dieser Arbeit durchgeführt werden, nutzen als Testmaterial zum Feststellen der Sprachverständlichkeit Wörter bzw. Sätze. Die Entscheidung für die Verwendung von Wort- und Satzmaterial als Sprachstimuli wurde getroffen, da Steeneken (1992) der Ansicht ist, dass weder Vokale noch Konsonanten alleine ausreichen, um die Sprachverständlichkeit gut abzubilden. Es ist daher sinnvoll, nicht nur Logatome, die zur Überprüfung einzelner Phoneme dienen, sondern komplexere Sprache, z.B. in Form von Wörtern, als Stimuli heranzuziehen. Bereits 1984 merkte auch Godfrey für englischsprachige Sprachtests an, dass bei der Auswahl der Stimuli nicht nur die phonetische

Ausbalanciertheit und Vorkommenshäufigkeit beachtet werden sollte, sondern dass auch – gerade bei einsilbigem Testmaterial – auf die Ausgewogenheit des Materials geachtet werden sollte, z.B. durch die Kontrolle des Silbentyps (Godfrey, 1984). Daher sollten keine Logatome oder Nichtwörter zum Testen herangezogen werden, sondern tatsächliche Wörter einer Sprache, in diesem Fall Wörter des Deutschen. Um eine geeignete Auswahl an Wörtern zu treffen, muss auf einige Dinge geachtet werden, u.a. darauf, dass die Phonemverteilung der jeweiligen Sprache wiederspiegelt wird. Bezieht man sich bei der Auswahl von Sprachmaterial jedoch nur auf die Phonemverteilung im Deutschen, so werden nur die Vorkommen einzelner Laute berücksichtigt, nicht aber das Vorkommen in bestimmten Phonemclustern, Silben oder Wörtern. Daher sollen in dieser Arbeit auch die Vorkommenshäufigkeiten einzelner Wörter einbezogen werden, denn diese können einen entscheidenden Unterschied auch für die Verständlichkeit machen. So konnte man in Experimenten zur Worterkennung feststellen, dass häufiger vorkommende Wörter schneller erkannt werden als nicht so häufig vorkommende Wörter (Gerhand und Barry, 1999) und Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen weniger häufig vorkommende Wörter schlechter erinnern können als häufiger vorkommende (Montgomery et al., 2010). Steeneken (1992) wertete für das Niederländische die Phonemvorkommen für die Position in Konsonant-Vokal-Konsonant-(CVC)-Silben mit dem Ergebnis aus, dass die Anzahl an silbeninitial und silbenfinal vorkommenden Phonemen unterschiedlich ist. Dies zeigt, dass es wichtig ist, Silben- und Wortvorkommenshäufigkeiten und nicht nur Phonemvorkommenshäufigkeiten zu beachten. Zur Ermittlung der Sprachverständlichkeit wird zum einen der OLSA verwendet, zum anderen wird Sprachmaterial des OLSAs ausgewählt und mit Sprachmaterial des OlakS ergänzt. Der OLSA wird herangezogen, weil er das Mittel der Wahl ist, um die Sprachverständlichkeitsschwelle im Störgeräusch bei CI-Trägern in der klinischen Routine zu testen (Müller-Deile, 2009). Die OLSA-Sätze sind nach der für das Deutsche typischsten Satzstruktur gebildet: Subjekt - Verb - Objekt (SVO). Sie sind nach folgendem Muster aufgebaut: Sollte eine atypische Satzstellung genutzt

Position	1	2	3	4	5
Wortart	Name	Verb	Zahlwort	Adjektiv	Objekt
Beispiel	Britta	kauft	fünf	alte	Bilder

werden (z.B. OVS), besonders wenn das Objekt erst durch die Kasusmarkierung des Subjekts als Objekt erkannt werden kann (z.B. *die Frau beißt der Hund*), so ruft dies einen größeren Verarbeitungsaufwand hervor als SVO (Carroll, 2013b). Da im OLSA aber nur Sätze mit der Satzstellung SVO verwendet werden, wird auf die Bedeutung der Satzstellung nicht weiter eingegangen. Der Test hat insgesamt 40 Listen, die aus jeweils 30 Fünfwortsätzen bestehen. Die Sätze sind grammatisch korrekt gebaut, allerdings kann der Inhalt nicht aus Kontextinformationen

erschlossen werden. Dies und die Tatsache, dass der Oldenburger Satztest beliebig oft wiederholbar ist (Wagener et al. (1999a), Wagener et al. (1999b), Wagener et al. (1999c)), hebt ihn von anderen Satztests ab. Der OLSA soll aufgrund seiner Konstruktion statistisch unabhängige Satzteile enthalten (Wagener et al., 1999a), somit ist das Sprachmaterial für eine Analyse außerhalb des Satzkontexts gut geeignet. Zudem wird Sprachmaterial des OlakS mit einbezogen, obwohl beim OlakS-Material der Fokus vor allem auf der syntaktischen Struktur liegt und es in dieser Arbeit vornehmlich um die Analyse von Wortarten gehen soll. Denn beim OlakS sind die Wörter hinsichtlich Vorkommenshäufigkeit und Phonemstruktur ausgewählt worden, es werden Artikel, Nomen, Verben und Adjektive verwendet (Uslar et al., 2013b); Daher eignet dieser Test sich gut für die Extraktion von Wortmaterial.

4.3 Linguistische und datenbankbasierte Analyse des OLSA-Wortschatzes

Wenn es darum geht, geeignetes Sprachmaterial für einen Sprachverständlichkeitstest zu gewinnen, so empfiehlt es sich, die Vorkommenshäufigkeiten dieser Wörter aus unterschiedlichen Datenbanken miteinander zu vergleichen. Des Weiteren sollten auch linguistische Überlegungen in die Generierung des Sprachmaterials einfließen. Im folgenden wird am Beispiel des OLSA-Wortschatzes eine solch umfassende Analyse gezeigt.

4.3.1 Analyse von Silbenstruktur und Betonungsmuster der Sätze

Die Sätze in den OLSA-Listen unterscheiden sich aufgrund der nicht konstant gehaltenen Silbenzahl in den Wortgruppen *Zahlen* und *Objekte* um insgesamt maximal zwei Silben, was damit auch Auswirkungen auf das Betonungsmuster der Sätze hat. Die Namen, Adjektive und Objekte sind immer zweisilbig, die Zahlen und Verben hingegen entweder ein- oder zweisilbig. Dies führt – je nach Kombination dieser Wörter – zu einem anderen Betonungsmuster (vgl. Tab. 4.3).

Bei einer Gleichverteilung der Sätze mit gleicher Silbenanzahl würde man von der gleichen Anzahl von Sätzen mit 8, 9 und 10 Silben pro Satz ausgehen. Die Anzahl der Sätze pro Silbenanzahl unterscheidet sich jedoch signifikant von einer Gleichverteilung der 8-, 9- und 10-silbigen Sätze ($\chi^2_{2,95\%} > 5,99$, *n.s.*). Dies kann auch der Abbildung 4.1 entnommen werden. Zweisilber und Dreisilber sind die häufigsten vorkommenden Wörter im Deutschen (Kliem, 1993, S. 15). Nach Best (2006)

Tabelle 4.3: Beispielhafte Darstellung der möglichen Silbenanzahlen von Sätzen mit den Wörtern des OLSA-Materials. Unter den Wörtern ist die dazugehörige Silbenanzahl genannt. Fett gedruckt sind die betonten Silben der jeweiligen Sätze. Das Betonungsmuster ändert sich je nach Silbenanzahl im Satz. Aufgeführt ist zusätzlich auch die Anzahl der Sätze mit der jeweiligen Silbenanzahl in Liste 10. Die Anzahl der Sätze mit unterschiedlichen Silbenanzahlen unterscheiden sich.

Name	Verb	Zahlwort	Adjektiv	Objekt	\sum Silben	\sum Sätze(Liste 10)
Doris	bekommt	achtzehn	grüne	Sessel.	10	3
2	2	2	2	2		
Doris	sieht	achtzehn	grüne	Sessel.	9	3
2	1	2	2	2		
Doris	sieht	elf	grüne	Sessel.	8	18
2	1	1	2	2		
Doris	bekommt	elf	grüne	Sessel.	9	6
2	2	1	2	2		

ist die durchschnittliche Wortlänge in gesprochener Sprache im Deutschen jedoch 1,5 Silben pro Wort, variiert also hauptsächlich zwischen ein und zwei Silben. Die durchschnittliche Silbenlänge pro Wort beträgt zwischen 3 und 4 Phonemen bei Ein- und Zweisilbern (Asleh und Best, 2005). Ob sich die Anzahl der Silben pro Satz allerdings von der Verteilung in deutschen Sätzen unterscheidet, kann nicht untersucht werden: Nach Auskunft von Karl-Heinz Best, der sich intensiv mit der deutschen Sprachstatistik beschäftigt, ist Wilhelm Fucks der einzige Autor, der sich mit der Silbenanzahl als Maß für die Satzlänge beschäftigt hat.

Allerdings hat Fucks zwar die Silbenverteilung als zugrunde liegendes Maß genommen, aber keine verallgemeinernde Aussage für das Deutsche getroffen, sondern nach verschiedenen Autoren geordnet und die Spezifika dieser festgestellt (Fucks, 1968). Damit kann kein Vergleich zu den OLSA-Sätzen gezogen werden.

Nun soll noch kurz auf die Repräsentativität der OLSA-Silben für das Deutsche eingegangen werden. Hierfür wird die Betrachtung der Wortformdatenbank der Silben-Types herangezogen (Hofmann et al., 2007), obwohl, wie Hofmann et al. (2007) darlegen, es ebenso auch Gründe für die Betrachtung der Token-Vorkommenshäufigkeit gibt. Die Type-Vorkommenshäufigkeit gibt die Zahl der Wörter an, in denen die Silbe vorkommt, die Token-Vorkommenshäufigkeit bezeichnet hingegen die aufsummierten Vorkommenshäufigkeiten der Wörter, in denen die Silbe vorkommt (Hofmann et al., 2007). Da aber dadurch die Vorkommenshäufigkeit eines Wortes hier zu stark ins Gewicht fällt (Hofmann et al., 2007) und die Werte schlecht auf die OLSA-Silben anwendbar sind, wird der Type-Wert vorgezogen. Die Silbenvorkommenshäufigkeiten der im Sprachmaterial des OLSAs verwendeten

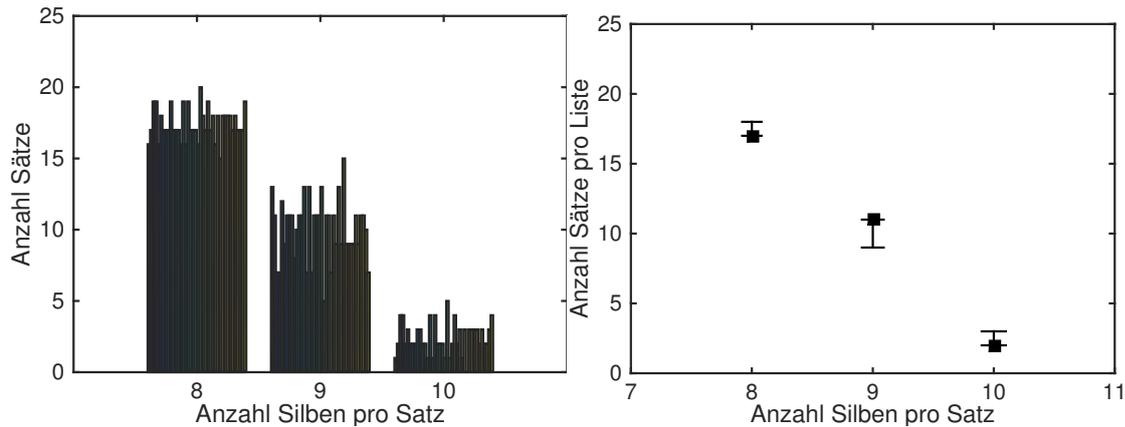


Abbildung 4.1: a) Das Histogramm zeigt die absoluten Häufigkeiten der Sätze mit $N = 8, 9, 10$ Silben pro OLSA-Liste. Jeder Balken steht für eine OLSA-Liste. b) Deskriptive Statistik (Median und Interquartilbereich) der Silbenanzahlen pro Satz über alle Listen.

Silben unterscheiden sich vom Auftreten dieser Silben in der deutschen Sprache (vgl. Abb. 4.2). So ist die im Deutschen am häufigsten verwendete Silbe, basierend auf einer Auswertung der CELEX-Datenbank (Baayen et al., 1995) nach Hofmann et al. (2007), die Silbe /ge/. Diese kommt aber nur einmal im gesamten OLSA-Material vor, was sicherlich an der gut durchdachten Strukturierung der Sätze liegt, da die Silbe /ge/ häufig in Verbpartizipien auftritt und diese hier nicht verwendet werden. Dies gilt in umgekehrtem Maße für das Vorkommen der Silbe /ne/, die als Adjektivendung vieler Adjektive im OLSA auftritt und damit in diesem Test im Vergleich zur deutschen Sprache überrepräsentiert ist.

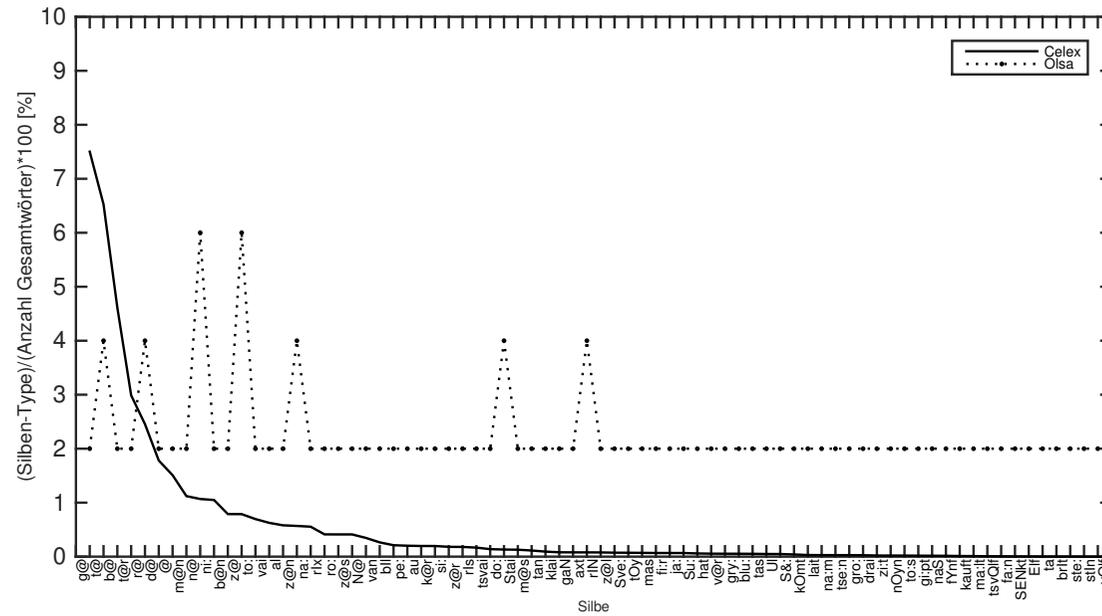


Abbildung 4.2: Die Verteilung der Silben, die im Sprachmaterial des OLSAs verwendet werden. Gezeigt ist die relative Anzahl der Wörter, in denen die Silben vorkommen, zum einen in der Celex-Wortform-Datenbank (nach Hofmann et al. (2007) $N_{gesamt} = 407.676$ Wörter) und zum anderen die relative Anzahl der Wörter, in denen die Silben im OLSA vorkommen ($N_{gesamt} = 50$).

Tabelle 4.4: Phrasenaufteilung eines OLSA-Satzes

Satz	Britta	kauft	fünf	alte	Ringe
Phrase	NP	VP	NP		
synt. Funktion	Subjekt	Prädikat	Akkusativobjekt		
Wortart	Nomen	Verb	Zahlwort	Adjektiv	Nomen

4.3.2 Analyse der syntaktischen Struktur

Nun wird die syntaktische Struktur der OLSA-Sätze besprochen. Die Phrasenstruktur eines OLSA-Satzes ist in Tabelle 4.4 zu sehen: Ein Satz besteht aus einer Nominalphrase (NP) und einer Verbalphrase (VP), die noch eine untergeordnete Nominalphrase enthält. Bei Position drei fängt linguistisch gesehen wieder eine neue Nominalphrase an, d.h. so gesehen ist diese Position wieder der Beginn (und damit Position eins) einer neuen Einheit (vgl. Tab. 4.4).

Für die auditive Präsentation der Sätze des OLSAs wurden die aufgenommenen Einzelwörter geschnitten und wieder neu zu Sätzen kombiniert. Nur Adjektive und Objekte wurden als Ganzes aufgenommen (Wagener et al., 1999a). Unter Betrachtung der Phrasenkonstruktion der OLSA-Sätze erscheint es allerdings sinnvoller, wenn die zweite Nominalphrase als Ganzes aufgenommen worden wäre (also Zahl, Adjektiv und Objekt) oder aber jedes Wort einzeln.

Da die Sätze immer gleich aufgebaut sind, scheint es bei den verwendeten Wörtern zunächst keine Unterschiede zwischen den Sätzen zu geben. Bei näherer Betrachtung fällt jedoch auf, dass zwei der zehn Verben im Präteritum gebildet sind (*nahm, gewann*). Dies ist zum einen ein Tempus, welches eher in der Schriftsprache genutzt wird und daher untypisch für gesprochene Sprache ist. Zum anderen wird dadurch ein im Vergleich zu den im Präsens gebildeten restlichen Verben zusätzliches zeitliches Merkmal (Vergangenheit) kodiert (Hoffmann, 2007a, S. 16). Dies kann unter Umständen einen größeren Verarbeitungsaufwand bedeuten.

Zudem unterscheidet sich die Valenz der ausgewählten Verben: So werden sowohl zweiwertige Verben (x *kauft* y) als auch dreiwertige Verben (x *gibt/ schenkt/ verleiht* y z) genutzt. Durch den Wegfall des dritten Arguments bei den dreiwertigen Verben sind die Sätze dadurch ungewöhnlich gebildet und werden in dieser Form in der Umgangssprache eher selten genutzt.

Da das Subjekt des Satzes immer in der dritten Person Singular gebildet ist, ist auch das Verb in der dritten Person Singular gebildet. Dies hat auch Einfluss auf die Frequenzeigenschaften dieser Wortgruppe. Denn dies bedeutet, dass alle Verbformen, die im Präsens gebildet sind, mit einem *-t* enden. Die zwei Verbformen im Präteritum enden hingegen mit einem Nasal.

Bei den Adjektiven kann man aufgrund von Kongruenzeigenschaften ebenfalls eine

übereinstimmende lautliche Gemeinsamkeit feststellen: Der Akkusativ Plural wird – unabhängig vom Genus – bei der Adjektivflexion auf *-e* endend gebildet (vgl. Abb. 4.2).

4.3.3 Analyse der semantischen Struktur

Nachfolgend werden die semantischen Besonderheiten der verwendeten Wörter erarbeitet. Ausgehend von der Reihenfolge der Wörter werden die einzelnen Gruppen behandelt. Begonnen wird mit den Namen, gefolgt von den Verben, Zahlwörter, Adjektive und Objekte.

Zehn weit verbreitete Vornamen wurden für den OLSA ausgewählt, die Auswahl stützte sich laut Wagener et al. (1999a) auf die Analyse von Mackensen (1982). Es wurden je fünf zweisilbige Frauen- und Männervornamen ausgewählt. Die GfdS - Gesellschaft für deutsche Sprache e.V. Wiesbaden (2015) erfasst seit 1977 die beliebtesten Vornamen für Mädchen und Jungen in Deutschland (in den Jahren 1991 - 1996 getrennt für neue und alte Bundesländer) anhand der von den Standesämtern beurkundeten Vornamen. In der Statistik zu den Vornamen aus dem Jahr 2014 wird von der GfdS - Gesellschaft für deutsche Sprache e. V. Wiesbaden (2016) angegeben, dass es Vornamen gibt, die sich regional unterschiedlicher Beliebtheit erfreuen. Dies konnte bei der Vornamenauswahl des OLSAs nicht berücksichtigt werden, da dieser ansonsten mit unterschiedlichem Vornamenrepertoire für verschiedene Regionen erstellt hätte werden müssen und die Durchführung kompliziert geworden wäre. Eine Auflistung der Vornamen und ihrer Spitzenvorkommenszeiten sind Tabelle 4.5 zu entnehmen.

Bei den Verben wurde durch die Verwendung des inhaltsleeren Verbes *haben* ein Ungleichgewicht zu den anderen Verben geschaffen, da diese eine inhaltvolle Handlung transportieren.

Bei den Adjektiven fällt das Wort *teuer* auf, da es sich durch seine Flexion im Satz (*teure*) von den anderen Adjektiven unterscheidet. Es werden viele Farbadjektive verwendet, aber auch relationale Adjektive (*groß, klein*).

Die Objekte sind so gewählt, dass auch die unterschiedlichen Flexionsklassen für Subjektive vertreten sind (Singular (Sg.) *Messer* - Plural (Pl.) *Messer*, Sg. *Stein* - Pl. *Steine*, Sg. *Auto* - Pl. *Autos*).

Das Zahlenrepertoire ist sehr eingeschränkt beim OLSA. Da nur ein- oder zweisilbige Zahlen auftreten, werden von vorneherein Zahlen ab einschließlich 21 ausgeschlossen, nur die Zehner können noch verwendet werden. Dadurch sind die Zahlwörter sehr leicht zu erraten, da diese Wortklasse zu den geschlossenen Wortklassen gehört, d.h. es kommen keine neu gebildeten Wörter mehr zu dieser Klasse hinzu und sie umfasst nur eine begrenzte Anzahl von Wörtern. Je nachdem, welche Wortartenlehre man hinzuzieht, werden Numeralia als eigene Wortart gewertet

Tabelle 4.5: Listenplätze der im OLSA verwendeten Vornamen im Jahr 2014 nach Angaben der GfdS - Gesellschaft für deutsche Sprache e.V. Wiesbaden (2015). Der Einschätzung der Gesellschaft nach könnten die Namen *Kerstin*, *Tanja*, *Ulrich*, *Britta*, *Wolfgang* und *Doris* mittlerweile als etwas altmodisch empfunden werden. Des Weiteren sind die Jahre angegeben, in denen die Vornamen laut (Bielefeld, 2015) sehr häufig vergeben wurden.

Name	Listenplatz 2014 der GfdS	Maximum laut (Bielefeld, 2015)
Peter	73	1935 - 1960
Kerstin	475	1960 - 1982
Tanja	412	1970 - 1984
Ulrich	313	1965
Britta	1673	1965 - 1975
Wolfgang	181	1942 - 1957
Stefan	103	1960 - 1985
Thomas	84	1954 - 1971
Doris	641	1957
Nina	88	seit 1970

(vgl. Kap. 3). Da Numeralia syntaktisch oft die Determinatorfunktion übernehmen, werden sie auch manchmal zu dieser Klasse hinzugezählt. Hier soll explizit von Zahlwörtern/Numeralia als eigene Klasse gesprochen werden, da nur diese in den OLSA-Sätzen verwendet werden, wenn auch in der Funktion eines Determinators in einer Nominalphrase. Bezold (1897) verwendete ebenfalls Zahlwörter zur Überprüfung der Hörfähigkeit. Schon damals merkt er an, dass Zahlwörter „leichter errathen werden als andere Worte.“ (Bezold, 1897, S.206).

Bezold (1897) ist die oben angeführte Problematik des Testens mit Zahlwörtern also durchaus schon damals bewusst, auch die der Familiarität und der Vorkommenshäufigkeit: „(D)as Resultat wird viel unsicherer ausfallen müssen, als wenn demselben (Anm: der Geprüfte) alle Worte gleichmässig bekannt sind.“ (Bezold, 1897, S.207). Trotz allem lehnt er das Testen mit Logatomen ab, „weil wir das Verständniss (sic!) des Kranken für seine Umgebungssprache kennen lernen wollen.“ (Bezold, 1897, S.207).

Um die Vorkommenshäufigkeiten aller Wörter des OLSAs miteinander vergleichen zu können, wurden mit Ausnahme der Vornamen die Vorkommenshäufigkeiten aus verschiedenen Datenbanken abgefragt und in Tabelle 4.6 zusammengefasst.

Tabelle 4.6: Die Angaben zu den im OLSA verwendeten Wörtern hinsichtlich ihres Vorkommens in der deutschen Sprache. Ausgewertet wurden das Forschungs- und Lehrkopas für gesprochenes Deutsch (FOLK) mittels der DGD, CELEX und DeReWo. Angaben für das FOLK geben die relative Häufigkeit des jeweiligen Tokens pro 1.292.204 Tokens an. Ergebnisse wurden mit der Tokensuche ermittelt. Die Werte der CELEX-Datenbank geben die logarithmierten Werte der Worthäufigkeiten pro 1 Million Wörter an (0-6) für die Mannheimer Wortform Datenbank (MannSLog Wordform). Auf diese Weise werden Unterschiede zwischen kleinen Vorkommenshäufigkeiten stärker gewichtet als genauso kleine Unterschiede bei hohen Vorkommenshäufigkeiten. Die Werte der DeReWo beziehen sich jeweils auf Infinitive und Nominativ Singular. Die Werte N geben an, dass das entsprechende Wort 2^{-N} mal seltener vorkommt als die häufigsten Wörter *der, die, das*.

Wort	DGD (FOLK)	CELEX (MannS- Log Wordform)	DeReWo
hat	$5,93 \cdot 10^{-3}$	3,7599	3
gibt	$1,70 \cdot 10^{-3}$	3,2063	6
nahm	$6,19 \cdot 10^{-6}$	1,2304	7
gewann	0	0,9542	8
schenkt	$3,09 \cdot 10^{-6}$	0,8451	11
bekommt	$4,95 \cdot 10^{-5}$	2,1106	8
sieht	$4,28 \cdot 10^{-4}$	2,5145	7
malt	$3,86 \cdot 10^{-6}$	0	12
verleiht	$7,73 \cdot 10^{-7}$	0,4771	11
kauft	$3,25 \cdot 10^{-5}$	1,0792	10
Autos	$5,49 \cdot 10^{-5}$	1,7076	9
Dosen	$7,73 \cdot 10^{-7}$	0	15
Sessel	$2,32 \cdot 10^{-6}$	0,699	14
Messer	$1,00 \cdot 10^{-5}$	0,4771	12
Blumen	$1,08 \cdot 10^{-5}$	0,8451	12
Tassen	$7,73 \cdot 10^{-7}$	0,8451	14
Bilder	$5,49 \cdot 10^{-5}$	1,3424	8
Schuhe	$3,32 \cdot 10^{-5}$	0,8451	12
Steine	$9,28 \cdot 10^{-6}$	1,0792	11
Ringe	$6,96 \cdot 10^{-6}$	0,699	11
drei	$1,43 \cdot 10^{-3}$	2,8235	7
neun	$3,74 \cdot 10^{-4}$	1,9031	10
sieben	$5,66 \cdot 10^{-4}$	1,6902	9 (NUM)
acht	$5,27 \cdot 10^{-4}$	2,2765	9
vier	$1,11 \cdot 10^{-3}$	2,5809	8
fünf	$1,39 \cdot 10^{-3}$	2,4871	8
zwei	$2,03 \cdot 10^{-3}$	3,0441	6
achtzehn	$7,42 \cdot 10^{-5}$	1,8751	15

Tabelle 4.6: Die Angaben zu den im OLSA verwendeten Wörtern hinsichtlich ihres Vorkommens in der deutschen Sprache. Ausgewertet wurden das Forschungs- und Lehrkopos für gesprochenes Deutsch (FOLK) mittels der DGD, CELEX und DeReWo. Angaben für das FOLK geben die relative Häufigkeit des jeweiligen Tokens pro 1.292.204 Tokens an. Ergebnisse wurden mit der Tokensuche ermittelt. Die Werte der CELEX-Datenbank geben die logarithmierten Werte der Worthäufigkeiten pro 1 Million Wörter an (0-6) für die Mannheimer Wortform Datenbank (MannSLog Wordform). Auf diese Weise werden Unterschiede zwischen kleinen Vorkommenshäufigkeiten stärker gewichtet als genauso kleine Unterschiede bei hohen Vorkommenshäufigkeiten. Die Werte der DeReWo beziehen sich jeweils auf Infinitive und Nominativ Singular. Die Werte N geben an, dass das entsprechende Wort 2^{-N} mal seltener vorkommt als die häufigsten Wörter *der, die, das*.

Wort	DGD (FOLK)	CELEX (MannS- Log Wordform)	DeReWo
zwölf	$2,03 \cdot 10^{-4}$	2,1533	10
elf	$1,77 \cdot 10^{-4}$	1,7993	10
große	$1,90 \cdot 10^{-4}$	2,6222	6
kleine	$1,65 \cdot 10^{-4}$	2,1987	7
alte	$5,33 \cdot 10^{-5}$	2,0899	7
nasse	$2,32 \cdot 10^{-6}$	0	13
schwere	$6,96 \cdot 10^{-6}$	1,3802	8
grüne	$2,32 \cdot 10^{-5}$	0,8451	10
teure (teuer)	$2,32 \cdot 10^{-6}$	0,9542	10
schöne	$7,89 \cdot 10^{-5}$	1,5682	9
rote	$2,70 \cdot 10^{-5}$	1	9
weiße	$1,70 \cdot 10^{-5}$	1,0792	9

Die Betrachtungen in diesem Kapitel zeigen, dass bei der Auswahl von Sprachstimuli für einen Test viele Einflussfaktoren beachtet werden müssen, um einen homogenen Wortschatz für eine Sprachtestung zusammen stellen zu können.

Kapitel 5

Einflussfaktoren auf die Satzverständlichkeit im Störgeräusch

In diesem Kapitel werden mehrere Einflussfaktoren der Satzverständlichkeit im Störgeräusch untersucht. Zunächst wird analysiert, wie sich die Satzverständlichkeit unter verschiedenen Störgeräuschbedingungen verhält. Anschließend wird die Beteiligung der einzelnen Positionen des Satzes an der Satzverständlichkeit untersucht.

Danach wird untersucht, welchen Einfluss die Wortpegel auf die Wortverständlichkeitsschwelle und damit auf die Satzverständlichkeitsschwelle haben.

5.1 Satzverständlichkeit bei verschiedenen Bedingungen

Die in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnisse wurden alle mit einem adaptiven Verfahren (vgl. Kap. 2.2.2) durchgeführt, um die Satzverständlichkeitsschwelle mit dem OLSA zu messen. Dabei wird der Pegel des folgenden Satzes durch die Anzahl der richtigen wiedergegebenen Worte des vorhergehenden Satzes bestimmt. Die Regelungen des Standardverfahrens des OLSA ist Abbildung 5.1(a) zu entnehmen. Insgesamt werden 30 Sätze im Störgeräusch vorgespielt, um anschließend die individuelle Satzverständlichkeitsschwelle (SVS) zu ermitteln, das SNR, bei dem 50% des Satzes noch verstanden werden (vgl. Abbildung 5.1(b)). Die Ergebnisse geben an, wie groß der Unterschied zwischen Satz- und Störgeräuschpegel ist, bei dem noch 50% des Satzes verstanden werden kann. Das bedeutet, je negativer eine Satzverständlichkeitsschwelle ist, umso leiser ist der Sprachschall gegenüber

dem Rauschen.

Zunächst wurden die individuellen Satzverständlichkeitsschwellen bei neun Nor-

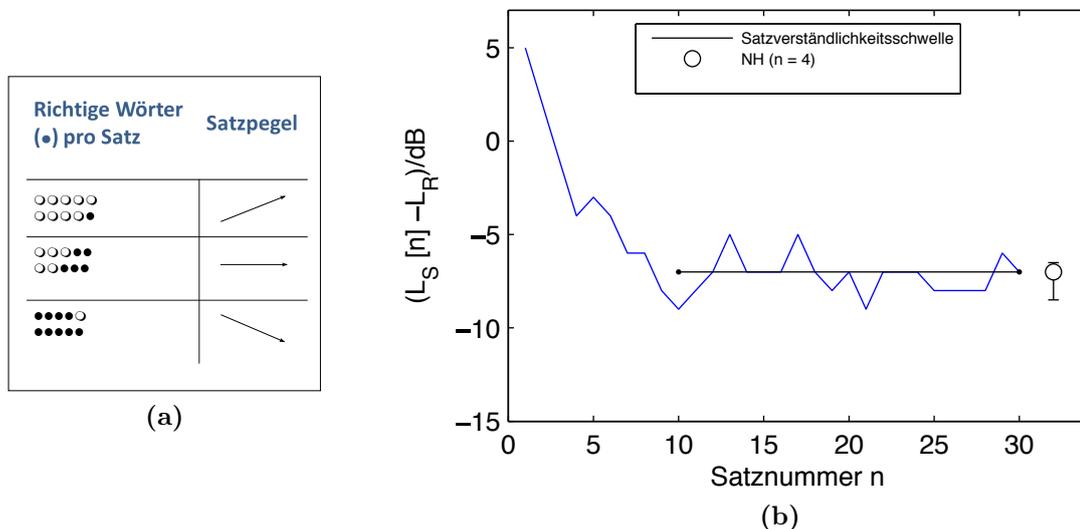


Abbildung 5.1: (a) Abhängigkeit des Pegels des folgenden Satzes von der Anzahl richtig verstandener Wörter bei der Standardmethode des OLSAs. (b) Dargestellt ist der Einregelungsvorgang eines normalhörenden Probanden, d.h. die Entwicklung des SNR (gebildet aus der Differenz des Satzpegels und des Pegels des Rauschsignals) über der Satznummer, in der Reihenfolge, in der die Sätze abgespielt wurden. Die Satzverständlichkeitsschwelle (Median der letzten 21 Sätze) des Probanden ist aufgetragen. Zusätzlich zu sehen sind die mittleren Satzverständlichkeitsschwellen beider Probandengruppen mit Interquartilbereichen.

malhörenden mittels des adaptiven Verfahrens, welches beim OLSA standardmäßig eingesetzt wird (vgl. Abb. 5.1), dichotisch über Kopfhörer bei verschiedenen Bedingungen ermittelt.¹ Alle Probanden berichteten normales Hören. Der Startwert war +5 dB SNR. Die gemessenen Bedingungen unterschieden sich zum einen im Störgeräusch: Es wurde das OLSA-Rauschen (Kap. 2) und das Fastl-Rauschen (Fastl (1987), vgl. Kap. 2) genutzt, dabei wurde das Störgeräusch immer zeitgleich auf beiden Kopfhörerkanälen abgespielt. Zum anderen gab es Bedingungen, bei der die Sprachstimuli auf einem Kopfhörerkanal im Vergleich zum anderen mit 0, 200, 400 und 600 μs Verzögerung präsentiert wurden. Diese werden im Folgenden mit $S\delta tN0$ bezeichnet, wobei δt die zeitliche Verzögerung in μs der Sprache (S) angibt und $N0$ anzeigt, dass das Rauschen auf beiden Kopfhörerkanälen gleichzeitig abgespielt wurde. Durch diese zeitliche Verzögerung entsteht der Eindruck einer räumlichen

¹Die Ergebnisse, die im Folgenden dargestellt werden, sind ausführlicher in Keller et al. (2014) zu finden, Teile der Daten wurden von Hanna Beike erhoben.

Trennung von Störgeräusch und Sprache, die besser zur Identifizierung des Sprachschalls genutzt werden kann (für Normalhörende: Culling et al. (2004), für CI ist der Effekt sehr gering vorhanden (van Hoesel, 2012) oder nicht signifikant vorhanden (van Hoesel et al., 2008)). Das Störgeräusch bei den *SdtN0*-Bedingungen war das OLSA-Rauschen. Für jede Bedingung wurde die Satzverständlichkeitsschwelle mit einer OLSA-Liste gemessen.

Der Pegel des Rauschens (L_R) wurde konstant gehalten und der Pegel des Satzes (L_S) wurde verringert oder erhöht, um den SNR im Laufe des Experiments zu ändern. Jeder Proband hörte zwar die gleiche Liste, jedoch war die Abspielreihenfolge der Sätze für jeden Probanden unterschiedlich. Die Daten wurden mit PsyWorks (Version 2.1)² über Matlab 2012 erhoben. Die Messungen fanden in einer Hörkabine (IAC 350) über Kopfhörer (Sennheiser HDA 280) statt.

Für die untersuchten Bedingungen zeigt sich ein Unterschied in den mittleren Satzverständlichkeitsschwellen, diese sind Abbildung 5.2 zu entnehmen. Die Probanden profitieren von der zeitlichen Verzögerung des Sprachsignals auf einem Kopfhörerkanal und erzielen mit zunehmender Verzögerung bessere Satzverständlichkeitsschwellen.

Ein ähnliches Ergebnis konnten Levitt und Rabiner (1967) finden, sie stellten ebenfalls eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit mit zunehmender Zeitverzögerung fest. Jedoch war diese nicht signifikant bis zu einer Zeitverzögerung von 0,5 ms. Keinen signifikanten Unterschied zwischen der Bedingung S0N0 und S700N0 bei CI-Trägern konnten van Hoesel et al. (2008) feststellen.

Andere Studien, die das Sprachsignal variierten, wie etwa Hawley et al. (1999) (90° von der Seite) und Culling et al. (2004), falteten das Sprachsignal zuvor mit einer sogenannten *head related transfer function* (HRTF) und weichen daher mit diesem Vorgehen von dem hier genutzten ab. Culling et al. (2012) präsentierten das Störgeräusch von der Seite und zeigten bei bilateraler CI-Versorgung einen Vorteil gegenüber der Bedingung, wenn Sprache und Störgeräusch frontal präsentiert wurden.

5.2 Untersuchung der Beteiligung der Wortverständlichkeit an der Satzverständlichkeit

Um die Beteiligung der einzelnen Wortarten an der Satzverständlichkeitsschwelle zu ermitteln, werden die Anteile korrekter Antworten der Wortarten für die im vor-

²Das Framework PsyWorks wurde freundlicherweise von Daniel Visser und Andreas Krenmayr von der Universität Innsbruck zur Verfügung gestellt.

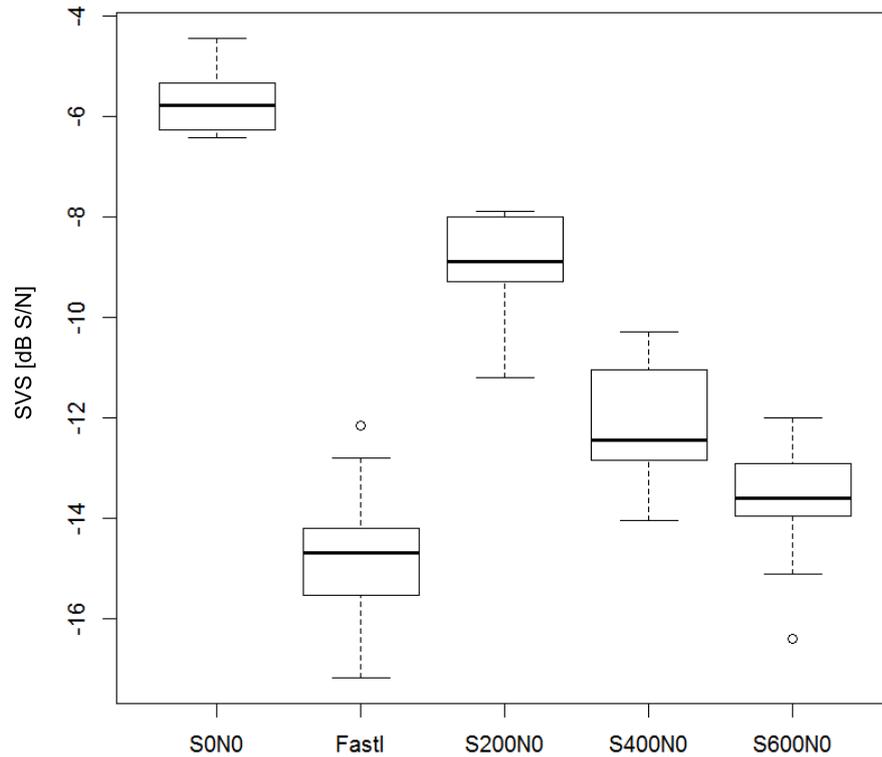


Abbildung 5.2: Boxplots für die Satzverständlichkeitsschwellen (SVS) für die Probandengruppe der neun Normalhörenden für die unterschiedlichen Bedingungen $S\delta tN0$. δt gibt an, mit welcher Zeitverzögerung in μs der Sprachstimulus auf einem Kopfhörerkanal eingespielt wurde. Eine niedrige Satzverständlichkeitsschwelle entspricht einer hohen Verständlichkeit. Die Ergebnisse zeigen, dass die Probanden von einer größeren Zeitverzögerung profitieren. Zudem sind die Ergebnisse für das Fastl-Rauschen sehr viel besser (niedrigere Satzverständlichkeitsschwelle) als für die restlichen Bedingungen.

angegangenen Abschnitt vorgestellten Ergebnisse ermittelt³. Dafür gehen nur die Anteile korrekter Antworten der letzten 21 der insgesamt 30 präsentierten Sätze ein. Denn nur die SNRs dieser 21 Sätze werden auch für die Berechnung der Satzverständlichkeitsschwelle herangezogen, da sich zu Beginn der Messung der SNR einpendeln muss. Bei diesen Sätzen liegt also der Anteil der korrekt verstandenen Wörter bei 50%. Der Vergleich der Anteile der korrekten Antworten für die einzelnen Wortarten (vgl. Abb. 5.3) zeigt jedoch eine Verteilung, die hiervon deutlich abweicht.

In Abbildung 5.3 sind die Ergebnisse für jede Wortart und jede Bedingung zu sehen. Die Anteile korrekter Antworten der Nomen und der Objekte, also der ersten und der letzten Position, liegen in allen getesteten Bedingungen über 50%. Die Anteile der Verben bleiben im Mittel unter 50%, die der Adjektive bis auf eine Bedingung ebenfalls unter 50%. Die Zahlen liegen in drei der fünf Bedingungen über 50%. Der Unterschied zwischen den Bedingungen ist für jede der Wortarten nicht signifikant ($F(4,40) = 1,62$, n.s.). Unabhängig von der Bedingung kann man also ein sehr ähnliches Verhalten der Probandenantworten feststellen.

³Die Ergebnisse, die im Folgenden dargestellt werden, sind ausführlicher in Keller et al. (2014) zu finden.

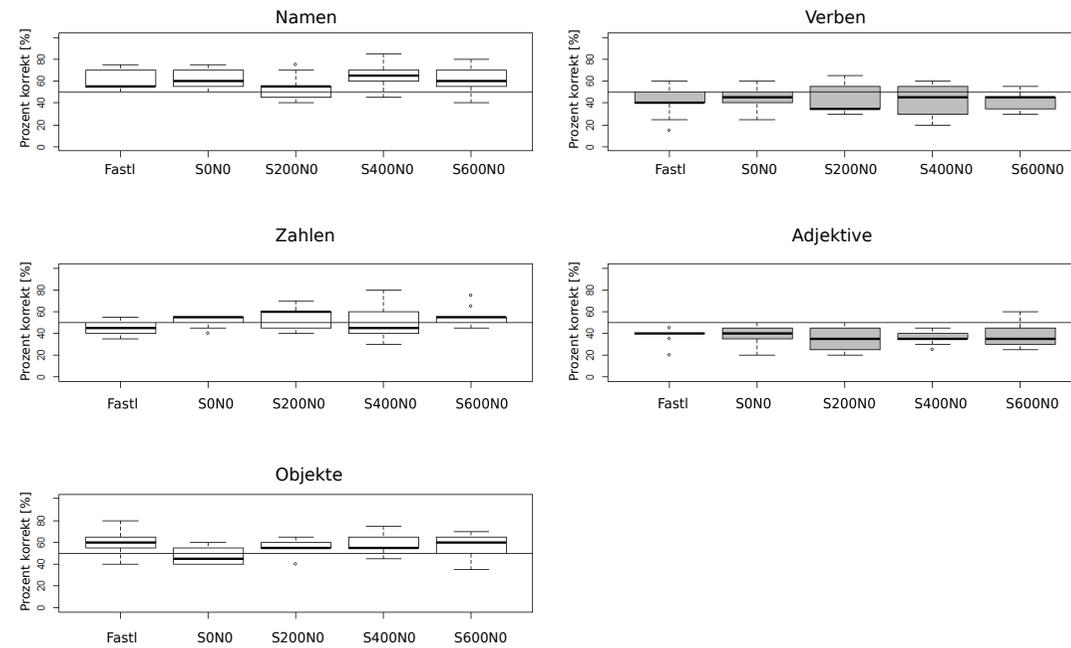


Abbildung 5.3: Boxplots für die Anteile korrekter Antworten der Probanden in % für jede der gemessenen Bedingungen getrennt nach Wortarten / Position. Für die Berechnung der in der Darstellung gezeigten Werte gehen die letzten 21 der insgesamt 30 Sätze der OLSA-Liste ein. Die SNRs dieser Sätze werden auch für die Berechnung der Satzverständlichkeitsschwelle herangezogen.

Die Wortarten / Positionen unterscheiden sich unabhängig von der Bedingung signifikant ($F(4,20) = 36,89, p < 0,01$). Mit einer Posthoc-Analyse, dem Tukey Test, konnte festgestellt werden, dass sich die Namen von Verben, Zahlen und Adjektiven signifikant unterscheiden, nicht aber von den Objekten. Bei exemplarischer Betrachtung der Ergebnisse für die Bedingung mit der besten und der schlechtesten Satzverständlichkeitsschwelle (Abb. 5.4), kann dies ebenfalls beobachtet werden. Die Probanden zeigen unter beiden Bedingungen ein sehr ähnliches Antwortverhalten.

Sowohl der Median der Anteile korrekter Antworten für die erste als auch für die

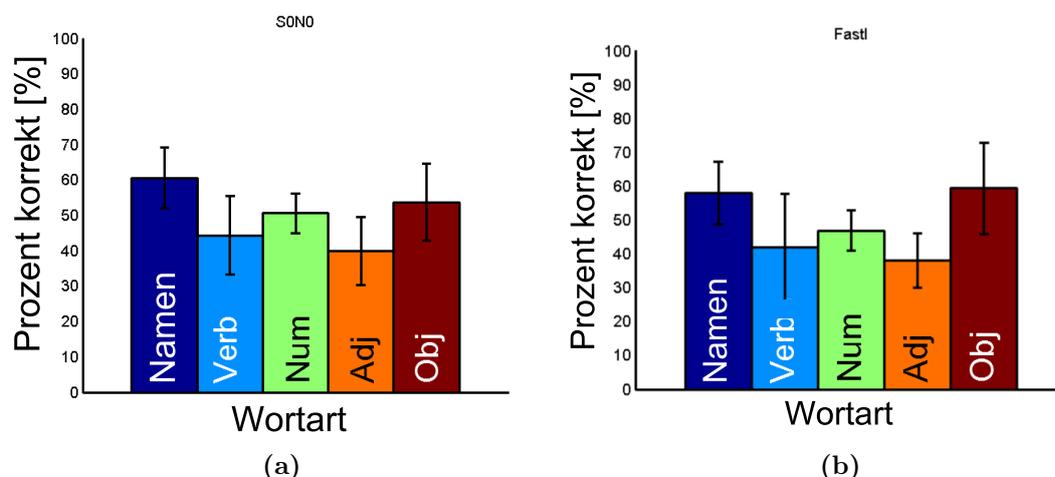


Abbildung 5.4: (a) Anteile korrekter Antworten in % für die Wortarten / Positionen der Bedingung mit der besten Satzverständlichkeitsschwelle (S0N0) und (b) der schlechtesten Satzverständlichkeitsschwelle (Fast1).

letzte Position liegt in allen Bedingungen immer über 50 %. Dies war aufgrund des Primär- und Rezenzeffekts erwartet worden. Auffällig verhalten sich die Zahlwörter an der dritten Stelle im Satz. Da diese die mittlere Position einnehmen, würde man von einem Abfall der korrekten Antworten ausgehen. Dies ist jedoch nicht der Fall, sie liegen auch in den meisten Bedingungen über 50%, es ergibt sich eine w-förmige Kurve. An der dritten Position, also bei der Zahl, fängt jedoch eine neue Nominalphrase an und damit ist die Zahl wieder Position eins dieser Nominalphrase. Zudem sind Zahlen eine geschlossene Wortklasse, das heißt, es kommen keine Wortneubildungen hinzu, die Worte sind begrenzt. Daher können Zahlen auch leichter erraten werden.

Dieser Effekt lässt sich unabhängig vom Störgeräusch und der Trennung von Störgeräusch und Sprache feststellen, also unabhängig von der Bedingung, mit der gemessen wurde. Ob diese Ergebnisse allerdings von der Wortart oder von der Position herrühren, kann noch nicht zufriedenstellend geklärt werden, da sowohl an

erster als auch an letzter Position kognitiv weniger komplexe Wortarten stehen. Es ist allerdings möglich, dass die Ergebnisse durch Pegelunterschiede bei den Worten einen Einfluss auf die gerade gezeigten Ergebnisse haben. Daher wird im Folgenden dieser Einfluss untersucht.

5.3 Einfluss der Wortpegel auf die Verständlichkeit

Für die Untersuchung des Einflusses der Wortpegel auf die Satzverständlichkeit wurden die individuellen Satzverständlichkeitsschwellen bei vier Normalhörenden und vier CI-Trägern mit jeweils einer Liste des OLSA mittels eines adaptiven Verfahrens ermittelt (vgl. Abb. 5.1)⁴. Der Startwert war +5 dB SNR, die Lautstärke stellte jeder Proband individuell so ein, dass er den Schall als angenehm laut empfand. Die Messungen fanden für die Normalhörenden diotisch über Kopfhörer (Sennheiser HDA 280) und für die CI-Träger diotisch über Audiokabel der Herstellerfirma in einer Hörkabine (IAC 350) statt, ohne etwas an den Einstellungen des Sprachprozessors zu verändern. Dies hat den Vorteil, dass die Einstellungen, an die die Implantat-Träger gewohnt sind und täglich nutzen, verwendet werden können. Somit ist keine Eingewöhnungszeit erforderlich, wie es etwa bei einer neuen Einstellung des Sprachprozessors der Fall ist. Die Daten wurden mit PsyWorks (Version 2.1)⁵ über Matlab 2012 erhoben. In den Tabellen A.1 und A.2 sind Informationen zu den Probanden zum Zeitpunkt der Messung vermerkt.

Nach Berechnung der mittleren Wortpegel wurde die Differenz der Wort- zu den jeweiligen Satzpegeln für jedes Einzelwort ermittelt und so das SNR bestimmt, bei welchem es tatsächlich vorgespielt wurde. Die Korrekturen der Wortpegel können Abbildung 5.5(a) entnommen werden. Diese wurden durch die Differenzen der mittleren Wortpegel pro Position von den Satzpegeln ermittelt. Um diese Korrekturwerte wurden die ermittelten Satzverständlichkeitsschwellen für jede Wortart verändert. Die dadurch erhaltenen Prognosen für die Wortverständlichkeitsschwellen können Abbildung 5.5(b) entnommen werden. Anschließend wurden psychometrische Funktionen angenähert: Die Anteile richtiger Antworten der insgesamt vorgespielten Schalle bei korrigiertem Pegel (in 1 dB -Schritten) wurden berechnet. Mit einer Glättung in 5 dB-Schritten wurde daraus eine Funktion berechnet, die eine Annäherung an die psychometrische Funktion für diese Wortart darstellt (Abb. 5.6). Da aufgrund der geringen Vorkommenshäufigkeiten von Schallen an den Randpunkten keine repräsentativen Werte (ausreichende Anzahl von Schallen) vorkommen, ist die ermittelte psychometrische Funktion keine sichere Schätzung an diesen Stellen.

⁴Die Ergebnisse, die im Folgenden dargestellt werden, sind unter Keller et al. (2015) zu finden.

⁵Das Framework PsyWorks wurde freundlicherweise von Daniel Visser und Andreas Krenmayr von der Universität Innsbruck zur Verfügung gestellt.

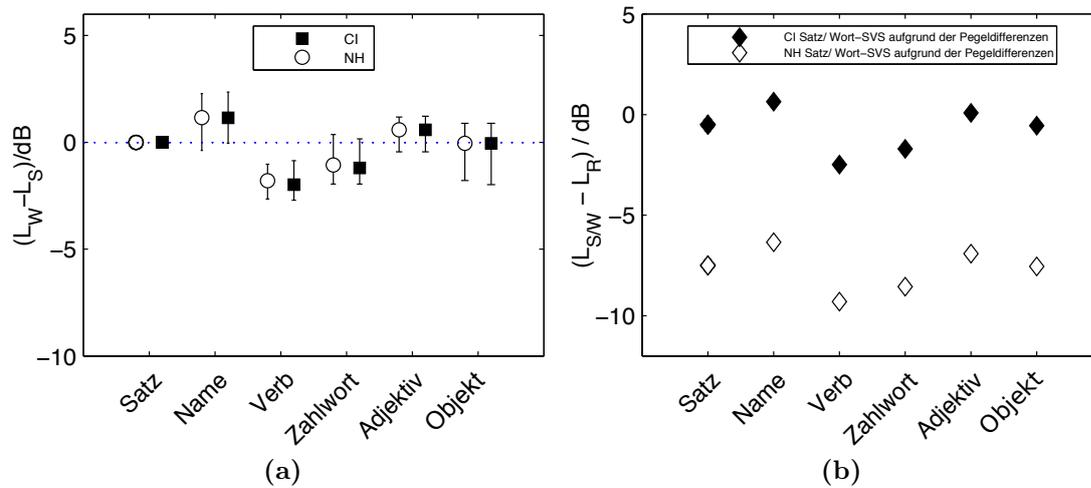


Abbildung 5.5: (a) Abweichungen der Wortpegel (L_W) vom jeweiligen Satzpegel (L_S). Gezeigt sind für beide Probandengruppen die mittleren Differenzen ($L_W - L_S$) und die Interquartilbereiche für die Sätze, die auch in die Berechnung der Satzverständlichkeitsschwelle eingehen. (b) Prognostizierte Wortverständlichkeitsschwellen aufgrund der Pegeldifferenzen der Wortpegel vom Satzpegel $L_W - L_S$. Diese erhält man durch die Korrektur der mittleren Satzverständlichkeitsschwelle um die jeweiligen mittleren Pegeldifferenzen der Wortarten: $(L_S - L_R) + (L_W - L_S) = L_W - L_R$, wobei L_R für den Pegel des Rauschsignals steht. Hiermit erhält man eine Vorhersage für die Wortverständlichkeitsschwellen aufgrund der Pegeldifferenzen. Aufgetragen sind die Vorhersagen für die Probandengruppe der CI-Träger und für die Probandengruppe der Normalhörenden.

Um die Wortverständlichkeitsschwelle über die ermittelten psychometrischen Funktionen zu bestimmen, wurde angenommen, dass es einen eindeutigen Schnittpunkt der psychometrischen Funktion mit der Geraden $y = 0,5$ gibt. Die Ergebnisse im Überblick sind Abbildung 5.7 zu entnehmen. Diese Annahmen waren nicht für alle zu schätzenden psychometrischen Funktionen erfüllt. Daher konnten keine eindeutige Wortverständlichkeitsschwellen bei der Gruppe der CI-Träger für die Sätze, Zahlwörter und Objekten und für die Gruppe der Normalhörenden bei den Objekten bestimmt werden.

Die Schwellen der Normalhörenden für den Gesamtsatz, für die Namen und für die Verben stimmen sehr gut mit den Wortverständlichkeitsschwellen aufgrund der Pegelkorrektur überein und liegen auch in den dazugehörigen Interquartilbereichen. Bei der Probandengruppe der CI-Träger ist dies bei den Namen und auch bei den Verben der Fall, jedoch kann für den Gesamtsatz keine Schwelle geschätzt werden. Dies kann unter anderem darauf hindeuten, dass die CI-Träger sehr gut raten können und auch bei niedrigen SNRs richtig geantwortet haben. Die Ergeb-

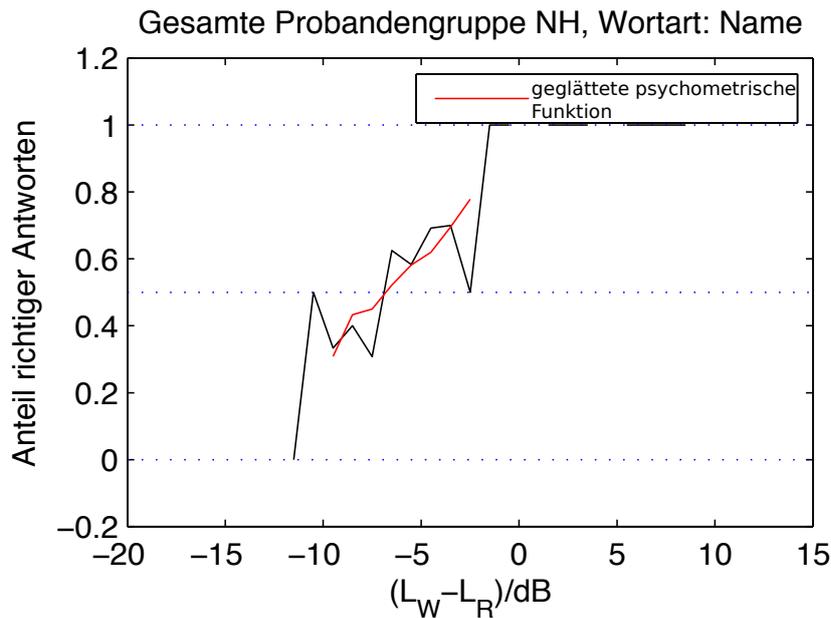


Abbildung 5.6: Berechnung der psychometrischen Funktion über die Bildung von relativen Häufigkeiten. Hier ist die Herleitung für die gesamte Probandengruppe der Normalhörenden für die Wortart „Name“ dargestellt. Zunächst werden die absoluten Häufigkeiten der präsentierten Wörter für die ermittelten Wort-SNRs pro dB gebildet. Die tatsächlichen Wort-SNRs werden über die jeweilige Pegeldifferenz des Wortes zum Satzpegel und des Satz-SNRs ermittelt. Danach wird der Anteil der richtig verstandenen Wörter pro dB bestimmt. Über die Bildung der relativen Häufigkeiten (schwarz) und das Filtern der Daten über ein 5 dB-Fenster wird eine psychometrische Funktion angenähert.

nisse der Pegelkorrektur der Wörter und die damit geschätzten Wortverständlichkeitsschwellen zeigen, dass es Unterschiede zwischen den Wortarten gibt, die nicht allein durch die Pegelkorrektur erklärt werden können. Diese Unterschiede sind bei beiden Probandengruppen zu sehen, etwa bei den Ergebnissen der geschätzten Wortverständlichkeitsschwellen der Adjektive. Diese sind sehr viel schlechter als sie aufgrund der Pegelkorrekturen sein sollten. Dies ist in umgekehrter Richtung bei den Namen zu beobachten: Die geschätzten Schwellen für die Namen sind besser als die aufgrund der Pegelkorrektur. Diese Ergebnisse sind unabhängig von den Probandengruppen, da sich dieser Trend in beiden Probandengruppen zeigt. Wodurch diese Ergebnisse begründet liegen, kann noch nicht ausreichend erklärt werden.

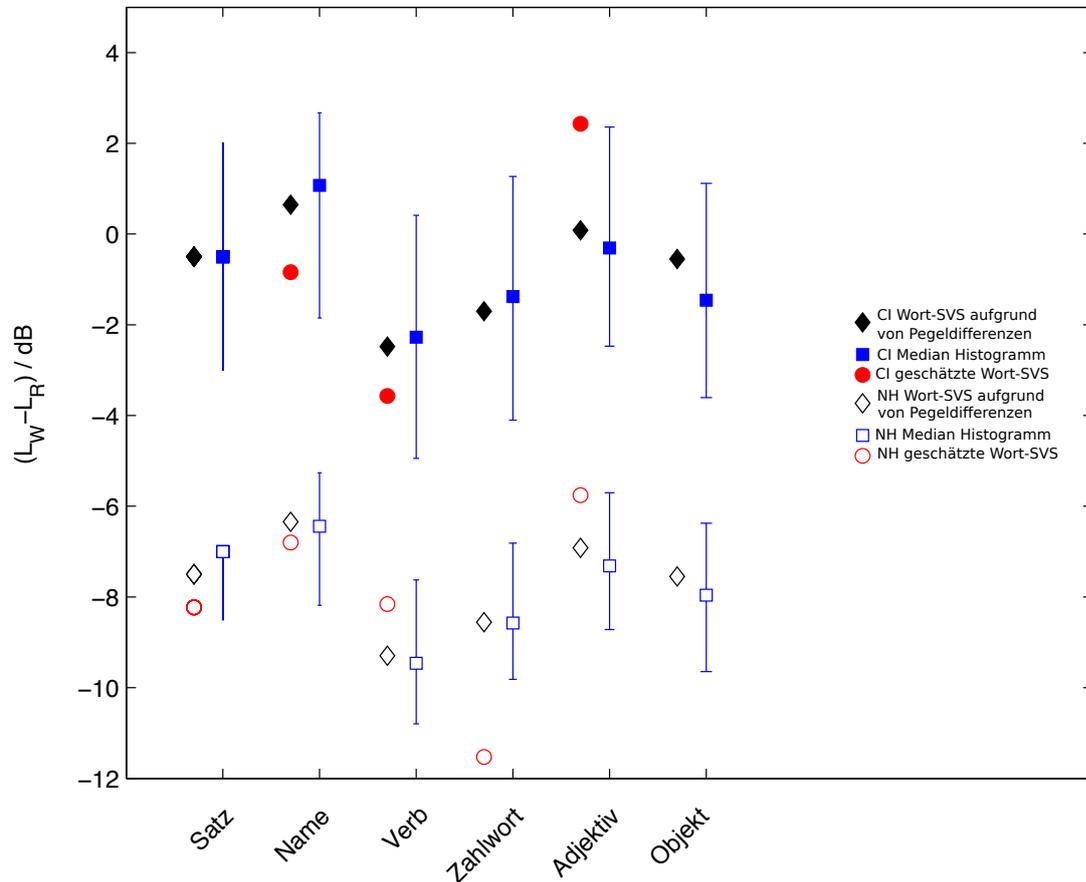


Abbildung 5.7: Zusammenfassung der Ergebnisse beider Probandengruppen. Gezeigt sind die geschätzten Wortverständlichkeitsschwellen durch die psychometrischen Funktionen (●, ○), die prognostizierten Schwellen aus den Pegeldifferenzen (◆, ◇) und der Median und die Interquartilbereiche der Histogramme aller präsentierten Pegel (blau). Die Schwellen durch die Schätzung der psychometrischen Funktionen konnten nicht immer ermittelt werden und sind daher bei Satz, Zahlwort und Nomen der CI-Träger und Nomen der Normalhörenden auch nicht dargestellt.

5.4 Zusammenfassung

Durch die bisherigen Experimente gibt es Anhaltspunkte, dass die Positionen eines OLSA-Satzes unterschiedlich oft richtig wiedergegeben werden. Besonders am Anfang und am Ende des Satzes sind die Anteile richtiger Antworten hoch, schlechter sind die Werte von Verben und Adjektiven an zweiter und vierter Position. Da allerdings die erste und die letzte Position im Satz auch mit den am wenigsten komplexen Wortgruppen im Satz, nämlich den Namen und den Objekten, besetzt sind, können die höheren Wiedergabewerte auch daran liegen.

Korrigiert man die Wortverständlichkeitswerte um die Pegelunterschiede der Worte, so gibt es Unterschiede zwischen den Wortarten. Die geschätzten Wortverständlichkeitsschwellen für jede Wortart zeigen jedoch ebenfalls noch Unterschiede auf, die sich nicht nur durch diese Pegelunterschiede erklären lassen. Dies bedeutet, dass es weitere Faktoren gibt, die die Wortverständlichkeitsschwellen beeinflussen. Daher wird in den folgenden Kapiteln den Unterschieden nachgegangen und nach den Ursachen geforscht.

Kapitel 6

Messung der Wortverständlichkeit im Störgeräusch

In diesem Kapitel wird untersucht, welchen Einfluss phonetische und semantische Eigenschaften von Wörtern auf deren Verständlichkeit im Störgeräusch haben. Verglichen wird die Verständlichkeit von zwei Probandengruppen, einer Gruppe von Normalhörenden und einer Gruppe von CI-Trägern. Mit dem in diesem Kapitel beschriebenen Experiment soll bestimmt werden, ob und in welcher Art Unterschiede in der Verständlichkeit bei Wörtern mit unterschiedlichen semantischen und phonetischen Eigenschaften bestehen.

Hierfür wurde zunächst eine geeignete Auswahl von Wörtern getroffen, die sowohl semantisch, syntaktisch und phonetisch ausbalanciert sind. Es wurden insgesamt 54 Wörter aus zwei Satztests ausgewählt. Anschließend wurde die Verständlichkeit dieser Wörter im Störgeräusch mit der Konstanten Stimuli Methode (vgl. Kap. 2.2.1) ermittelt. Zum einen wurde die psychometrische Funktion der Wortverständlichkeit im Störgeräusch für die Einzelwörter bestimmt, um damit Verständlichkeitswerte ermitteln zu können. Zum anderen wurden mit der Ermittlung der relativen Häufigkeiten richtiger Antworten Gruppen von Wörtern hinsichtlich phonetischer und semantischer Eigenschaften untersucht. Zudem wird der Zusammenhang zwischen der Rangfolge der Wörter hinsichtlich der Verständlichkeit und dem mittleren Sonoritätsindex ermittelt.

6.1 Methode

6.1.1 Stimulusauswahl und -generierung

Das Sprachmaterial bestand zum einen aus 25 Wörtern des OLSAs und zum anderen aus 29 Wörtern aus dem OlakS-Material. Ausgewählt wurden jeweils fünf

der zehn Wörter jeder Position eines OLSA-Satzes. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass möglichst eine Homogenität der ausgewählten Wörter hinsichtlich semantischer und syntaktischer Kriterien vorhanden ist. Diese Auswahl wurde des weiteren aufgrund von Ergebnissen einer Datenbankrecherche zum Häufigkeitsvorkommen der Wörter getroffen (vgl. Kap. 4). So wurden Wörter wie *nahm* und *gewann* aufgrund ihres Tempus ausgeschlossen, weil diese Verbformen im Präteritum gebildet sind. Die Auswahl der Namen wurde aufgrund einer Einschätzung der Gesellschaft für deutsche Sprache getroffen (vgl. Tab. 4.5). Die Ergebnisse zur Vorkommenshäufigkeit der Wörter, die mittels Datenbankrecherche erhalten wurden (Tab. 4.6), wurden ebenfalls hinzugezogen.

Die Wörter des OlakS-Materials sind bereits ihrer Vorkommenshäufigkeit und der Phonemhäufigkeit entsprechend bei der Konzeption des OlakS-Tests ausgewählt worden (Carroll, 2013b), so dass die Auswahl für das folgende Experiment hier rein nach semantischen und syntaktischen Kriterien und nach der Anzahl der Silben getroffen wurde. Da das Sprachmaterial anders als das des OLSAs konstruiert wurde, konnten hier sowohl flektierte Verben als auch Verben in Infinitivform ausgewählt werden. Des weiteren wurden Nomen der semantischen Kategorien *Tiere* (ein- und zweisilbig) und *Berufe* aus dem Sprachmaterial isoliert werden. Die ausgewählten Wörter können den Tabellen 6.2 für die OLSA-Wörter und 6.4 für die OlakS-Wörter entnommen werden.

Die entsprechenden Wörter wurden aus den Sätzen ausgeschnitten und diese Ausschnitte mit einer 5-ms Flanke am Wortanfang und -ende ein- und ausgeblendet. Eine Ausnahme bildete das Wort „schenkt“ aus dem OLSA-Material. Der Wortausschnitt wurde mit 10 ms ein- und ausgeblendet, da ansonsten noch die Wortübergänge des vorangegangenen und darauffolgenden Wortes zu hören waren.

Das Rauschen für die Wörter des OLSAs war das Oldenburger Satzrauschen, für die Wörter des OlakS-Material das entsprechend dem OLSA-Rauschen generierte Rauschen aus dem Satzmaterial des OlakS.¹

Die Wörter wurden mit einem zufällig ausgewählten Abschnitt des Rauschens präsentiert, wobei das Rauschen mindestens 200 ms vor und nach dem Sprachschall zu hören war. Die Sprachstimuli wurden mit dem Rauschen gemischt und diotisch über Kopfhörer präsentiert. Die Probanden mit CI hörten den Schall unilateral über ein Audiokabel der CI-Herstellerfirma.

6.1.2 Durchführung

Jeder Proband erhielt eine schriftliche Anleitung zur Studiendurchführung. Getestet wurde im SNR-Bereich von -16 dB SNR bis +4 dB SNR in 2 dB Abständen für

¹Die Sätze und das dazugehörige Rauschen wurden freundlicherweise von Prof. Esther Ruijndijk von der Universität Oldenburg zur Verfügung gestellt.

die OLSA-Wörter und von -18 dB SNR bis +2 dB SNR für die OlakS-Wörter. Der zu testende Bereich wurde in einer Testsitzung bestimmt. In zufälliger Reihenfolge wurde jedes Wort bei jedem präsentierten SNR zehnmal präsentiert. Die Messungen fanden in zwei Sitzungen an unterschiedlichen Tagen statt. Für die Wörter aus dem OLSA und für die Wörter aus dem OlakS gab es jeweils eigene Sitzungen. In jeder Sitzung gab es nach der Hälfte der abgespielten Schalle eine kurze Pause von etwa 5-10 Minuten.

Über kalibrierte Kopfhörer (Sennheiser HDA 280) wurden die Schalle bei 63 dB in einer abgedunkelten Hörkabine (IAC 350) präsentiert um visuelle Einflüsse auszuschließen und die Antwort der Probanden über ein Diktiergerät (TASCAM DR-05) aufgezeichnet. Das Abspielen der Schalle erfolgte über einen Windows PC mit Matlab 2015b (32 bit) über die ASIO-Treiber mit einer ASIO/Matlab-Interface Software (WindAcoustics, 2016) über das Audiointerface Fireface UC (vgl. Abb 6.1). Durch Tastendruck konnte der Proband nach erfolgter Antwort selbstständig das Abspielen des nächsten Schalles steuern.

Bei den Probanden mit CI wurde der Bereich von -10 dB SNR bis +10 dB SNR in

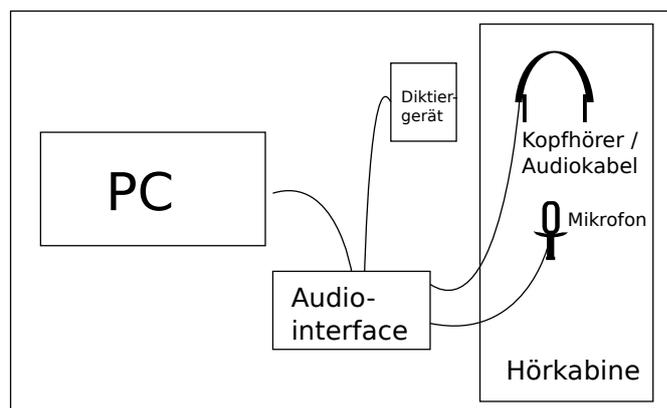


Abbildung 6.1: Versuchsaufbau

2 dB-Schritten getestet. Auch hier wurde der getestete Bereich durch eine Testsitzung mit einem CI-Probanden bestimmt. Die Durchführung erfolgte über Audiokabel monaural entweder in der Hörkabine oder in einem Schallschutzraum. Für jeden Probanden mit CI wurden die Schalle bei individuell angepasster angenehmer Lautstärke abgespielt.

Insgesamt gingen die Ergebnisse von 10 Normalhörenden und 10 CI-Trägern in die Auswertung ein². Tabelle A.1 und A.2 und Abbildung A.2 im Anhang geben einen Überblick über die getesteten Probanden. Die CI-Träger nutzten entweder die Kodierungsstrategie FS4 oder FSP. Während die hier nicht genutzte Kodie-

²Teile der Daten wurden von Katharina Steigerwald erhoben.

rungsstrategie CIS vor allem örtliche Information aus der Einhüllenden zur Verfügung stellt, sollen mit den fine structure processing (FSP) Strategien auch zeitliche Informationen aus der Feinstruktur eines Signals und damit zeitliche Kodierung möglich sein (eine Beschreibung von Feinstrukturübertragung findet sich in Zierhofer und Schatzer (2012) und Nopp und Polak (2010)). Diese findet vor allem bei niedrigen bis mittleren Frequenzen statt. Es werden die Nulldurchgänge des bandpassgefilterten Sprachsignals genutzt, um die zeitliche Struktur des Schalls zu kodieren (Nopp und Polak, 2010). Der Unterschied zwischen FSP und FS4 besteht in der Anzahl der Kanäle, die die Feinstruktur übermitteln, bei FSP sind es zwei, bei FS4 vier.

6.1.3 Datenanalyse

Die Aufzeichnungen der mündlichen Antworten der Probanden wurden im Nachhinein manuell ausgewertet. Eine Antwort wurde als richtig gewertet, wenn das Zielwort korrekt genannt wurde, als falsch, wenn es eine Abweichung vom Zielwort gab: Die Antwort „klein“ für das Zielwort „kleine“ wurde als falsch gewertet. Anschließend wurden die Antworten kumuliert für jedes SNR und jedes Wort und der Anteil an richtigen Antworten gegenüber des abgespielten SNRs aufgetragen. Für jedes Wort wurde eine psychometrische Funktion ermittelt: Hierfür wurde eine logistische Funktion $f_{k,z}(x)$ an die Mediane der relativen Häufigkeiten richtiger Antworten pro SNR mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate-Schätzer angenähert.

Die zu schätzende psychometrische Funktion $f_{k,z}(x)$ wird folgendermaßen definiert:

$$f_{k_i,z_i}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-k_i \cdot x) \cdot (\frac{1}{z_i} - 1)}, k_i, z_i \in \mathbb{R}$$

mit der Steigung

$$f'_{k_i,z_i}(x) = k_i \cdot f_{k_i,z_i}(x) \cdot (1 - f_{k_i,z_i}(x)), i \in \{OLSA, OlakS\}$$

wobei k_i und z_i die zu schätzenden Parameter für die psychometrische Funktion der einzelnen Wörter sind. Anschließend wurde x_0 bestimmt mit $f_{k,z}(x_0) = a$, $a \in \{0, \dots, 1\}$. Für $a = 0,5$ wurde $f'_{k,z}(x_0) = k \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5) = k \cdot 0,5^2 = f_{k,z}(L_{50})$ berechnet.

6.2 Ergebnisse

Die Antworten der Probanden und die daraus ermittelten psychometrischen Funktionen für jedes Wort sind im Anhang unter D zu finden. Auf die ermittelten

Wortverständlichkeitsschwellen L_{50} und die Steigungen bei $y = 0,5$ wird im Folgenden eingegangen. Berichtet werden bei statistischen Analysen der Median und die Interquartilbereiche; Statistische Analysen wurden mit nicht-parametrischen Tests, wie dem Kruskal-Wallis-Test, dem Mann-Whitney U Test und dem Wilcoxon Test, durchgeführt³.

6.2.1 Bestimmung und Analyse der psychometrischen Funktionen der Wortverständlichkeit im Störgeräusch

In Abbildung 6.2 und Tabelle 6.1 sind die deskriptiven Daten der L_{50} -Werte und der Steigungen für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger im Überblick zu sehen.

Probandengruppenvergleich: Die Mediane der Steigungen der OLSA-Wörter der

Tabelle 6.1: Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der L_{50} -Werte und der Steigungen für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach Wörtern des OLSA und OlakS (vgl. Abb 6.2). ** zeigen hochsignifikante Ergebnisse auf einem Signifikanzniveau von $p = 0,01$ mit dem Mann Whitney U Test an.

	NH (N = 10)			CI (N = 10)		
	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$
L_{50} OLSA	-8,7	-5,9	-3,6	-2,5	-0,1	1,1
L_{50} OlakS	-12,2	-8,9	-6,6	-6,0	-4,2	-0,7
Steigung OLSA	0,1296	0,1872	0,2820	0,0897	0,1195	0,1378
Steigung OlakS	0,1496	0,1878	0,2371	0,0804	0,1060	0,1255

Probandengruppen der Normalhörenden und der CI-Träger unterscheiden sich nicht signifikant mit einem Mann-Whitney U Test ($U(25,22) = 242, p = 0,48$), die der OlakS-Wörter signifikant auf einem Signifikanzniveau von 10% ($U(29,21) = 220,5, p = 0,09$). Die Mediane der L_{50} -Werte der OLSA-Wörter der CI-Träger und der Normalhörenden unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($U(25,22) = 275,0, p = 1,0$), die Mediane der L_{50} -Werte der OlakS-Wörter unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von 10% signifikant voneinander ($U(29,21) = 236,5, p = 0,18$). Die nicht signifikanten Unterschiede bei den OLSA-Wörtern sind durch die sehr breite Streuung der Wörter zu erklären.

³Der Median hat gegenüber dem arithmetischen Mittelwert den Vorteil, dass er Ausreißern gegenüber robust ist (Bortz und Schuster (2010), S.28; Fahrmeir et al. (2011), S.55). Nicht-parametrische Tests oder verteilungsfreie Tests wie der Mann Whitney U Test benötigen weniger Voraussetzungen als parametrische Tests (Bortz und Lienert, 2008, S. 56). So treffen diese Tests normalerweise keine Annahmen über die zugrunde liegende Verteilung der zu prüfenden Daten (Bortz und Lienert, 2008, S. 56).

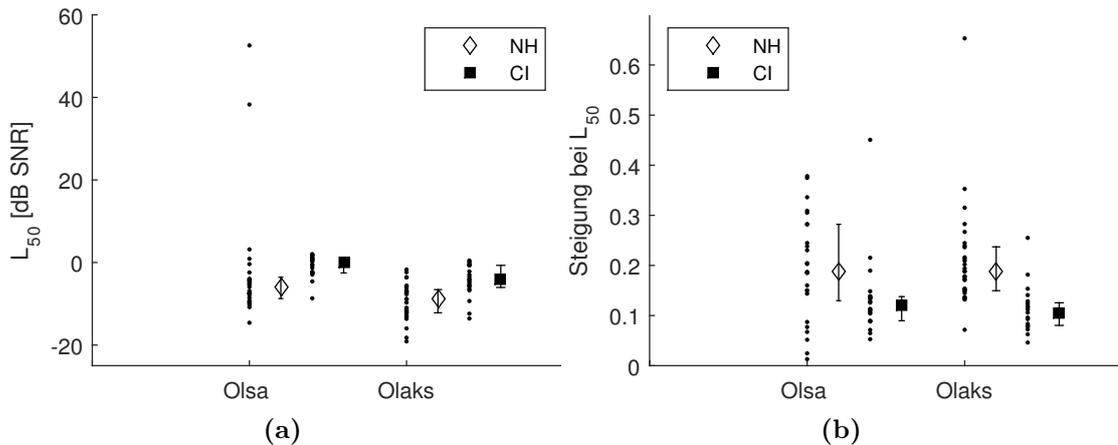


Abbildung 6.2: (a) L_{50} - Werte der Wörter des OLSA und des OlakS und die dazugehörigen Interquartilbereiche für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den L_{50} -Werten der Wörter des OLSA und OlakS für die Probandengruppe der Normalhörenden und für die Probandengruppe der CI-Träger. (b) Steigungen im Punkt $x = L_{50}$ der Einzelwörter der Wörter des OLSA und des OlakS und die dazugehörigen Interquartilbereiche für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Steigungen der Wörter des OLSAs und des OlakSs, weder für die Probandengruppe der Normalhörenden noch für die Probandengruppe der CI-Träger.

Ergebnisse für die Probandengruppe der Normalhörenden: Die L_{50} -Werte und Steigungen der Wörter sind den Tabellen 6.2 - 6.5 zu entnehmen. Mit einem Mann-Whitney U Test wurde der Unterschied der Mediane der Steigungen der psychometrischen Funktionen von OLSA- und OlakS-Wörtern untersucht: Sie unterscheiden sich nicht signifikant ($U(25,29) = 362$, $p = 1,0$, Tab. 6.1), jedoch gibt es einen hochsignifikanten Unterschied zwischen den Medianen der L_{50} -Werte der OLSA- und OlakS-Wörter ($U(25,29) = 206$, $p < 0,01$, Tab. 6.1).

Extreme Datenpunkte bei der Probandengruppe der Normalhörenden sind in Abbildung 6.2(a) zu beobachten. Da diese jeweils mehr als der dreifache Abstand des Interquartilbereichs vom 75%-Quartil entfernt sind, handelt es sich hierbei um extreme Ausreißer (vgl. etwa Klemm (2002), S.82). Bei den L_{50} -Werten sind dies die Wörter „Nina“, und „sieht“ und bei den Steigungen das Wort „Kellner“ (vgl. Tab. 6.2 und 6.5). Schon bei der Datenerhebung fiel auf, dass alle Probanden Probleme mit „sieht“ hatten und sehr oft „zieht“ verstanden haben, dies kann daran liegen, dass durch den Ausschnitt des Wortes aus dem Satz am Wortanfang so viel von der stimmhaften Information verloren gegangen ist, dass dies als stimmlos wahrgenommen wird und als /ts/ wiedergegeben wird, da ein stimmloses /s/ am Wortanfang im Deutschen nicht auftritt. Das Wort „Nina“ bereitete den Proban-

den ebenfalls große Probleme: es wird als sehr kurz wahrgenommen, oftmals wurde hauptsächlich der Vokal /i/ und das darauf folgende /n/ verstanden und so wurde das Wort zum Beispiel zu /Biene/ oder /Ina/. Dies kann eventuell auch darauf zurückzuführen sein, dass durch die 5 ms Einschaltflanke das /n/ zu Beginn sehr leise wurde und dadurch nicht gut hörbar war.

Das Wort „Kellner“ fällt durch den Wert der ermittelten Steigung auf, dies kann am Anpassalgorithmus liegen, mit dem die logistische Funktion ermittelt wurde. Während also Auffälligkeiten in den L_{50} -Werten auf Probleme bei der Darbietung und damit auch den Antworten der Probanden hinweisen, ist der extreme Wert der Steigung in diesem Fall auf den Algorithmus zurückzuführen.

Ergebnisse der Probandengruppe der CI-Probanden: Aufgrund der großen Heterogenität der Ergebnisse der CI-Probanden wurden Einschränkungen für die Ermittlung der psychometrischen Funktion der Einzelwörter getroffen. Es wurden nur Probanden eingeschlossen, die bei mindestens vier der präsentierten SNRs mehr als zwei richtige Antworten pro SNR gegeben haben. Umgekehrt wurden Probanden ausgeschlossen, die in mehr als der Hälfte der präsentierten SNRs weniger als zwei richtige Antworten pro SNR gegeben haben (vgl. Anhang D.5). Dadurch konnte bei 11 Wörtern keine psychometrische Funktion ermittelt werden. Diese werden im Folgenden nicht in die Analyse einbezogen. Für die Gesamtanalyse blieben damit noch 43 Wörter übrig, 22 der OLSA-Wörter und 21 der OlakS-Wörter. Der Median der L_{50} -Werte der OlakS-Wörter ist kleiner als der der OLSA-Wörter, dieser Unterschied ist hochsignifikant ($U(21,22) = 87$, $p < 0,01$, Tab. 6.1). Die Steigungen der beiden Wortgruppen unterscheiden sich nicht signifikant ($U(21,22) = 185$, $p = 0,269$, Tab. 6.1).

Tabelle 6.2: Die ermittelten L_{50} -Werte in dB SNR (gerundet auf eine Nachkommastelle) und die Steigung m an der Stelle $y = 0,5$ für die Wörter des OLSA für die Probandengruppe der NH. Die Wörter sind vom niedrigsten (besten) zum höchsten L_{50} -Wert absteigend angeordnet.

Wort	L_{50}	Steigung
acht	-14,6	0,2382
Autos	-10,8	0,3782
schenkt	-10,3	0,3748
kauft	-9,8	0,1505
Stefan	-9,6	0,3053
fünf	-9,3	0,2045
Schuhe	-8,6	0,3360
vier	-7,9	0,2825
Messer	-7,5	0,2303
malt	-7,5	0,1497
Wolfgang	-7,4	0,2819
Thomas	-6,9	0,3091
alte	-5,9	0,2447
neun	-5,4	0,1851
Peter	-5,1	0,1872
gibt	-4,7	0,1602
drei	-4,4	0,1437
Bilder	-4,2	0,1857
kleine	-3,9	0,2030
schwere	-2,4	0,0673
Dosen	-0,4	0,0872
schöne	0,9	0,0771
nasse	3,2	0,0517
Nina	38,3	0,0246
sieht	52,6	0,0131

Tabelle 6.3: Die Steigung m an der Stelle $y = 0,5$ für die Wörter des OLSA für die Probandengruppe der NH und die ermittelten L_{50} -Werte in dB SNR (gerundet auf eine Nachkommastelle). Die Wörter sind von der höchsten zur niedrigsten Steigung absteigend angeordnet.

Wort	Steigung	L_{50}
Autos	0,3782	-10,8
schenkt	0,3748	-10,3
Schuhe	0,3360	-8,6
Thomas	0,3091	-6,9
Stefan	0,3053	-9,6
vier	0,2825	-7,9
Wolfgang	0,2819	-7,4
alte	0,2447	-5,9
acht	0,2382	-14,6
Messer	0,2303	-7,5
fünf	0,2045	-9,3
kleine	0,2030	-3,9
Peter	0,1872	-5,1
Bilder	0,1857	-4,2
neun	0,1851	-5,4
gibt	0,1602	-4,7
kauft	0,1505	-9,8
malt	0,1497	-7,5
drei	0,1437	-4,4
Dosen	0,0872	-0,4
schöne	0,0771	0,9
schwere	0,0673	-2,4
nasse	0,0517	3,2
Nina	0,0246	38,3
sieht	0,0131	52,6

Tabelle 6.4: Die ermittelten L_{50} -Werte in dB SNR (gerundet auf eine Nachkommastelle) und die Steigung m an der Stelle $y = 0,5$ der Wörter des OlakS für die Probandengruppe der NH. Die Wörter sind vom niedrigsten (besten) zum höchsten L_{50} -Wert absteigend angeordnet.

Wort	L_{50}	Steigung
Fuchs	-19,1	0,1878
Frosch	-18,2	0,2093
tröstet	-16,0	0,2020
Hase	-13,7	0,1353
zittert	-13,2	0,1771
trösten	-13,0	0,2132
treten	-12,3	0,1497
Elch	-12,1	0,2826
Ärztin	-12,0	0,3152
küssen	-11,7	0,1450
Panda	-11,6	0,2363
Tiger	-11,2	0,1321
Metzger	-11,0	0,1525
lächelt	-9,7	0,1784
tadelt	-8,9	0,1538
Gärtner	-8,8	0,2161
Esel	-7,7	0,1370
Hund	-7,3	0,2447
jagen	-7,3	0,3527
Bär	-7,0	0,2669
jubelt	-7,0	0,1708
gähnen	-6,7	0,1887
Kellner	-6,1	0,6531
wecken	-5,7	0,1939
malen	-5,6	0,1730
jubeln	-3,6	0,1339
Köchin	-3,6	0,2395
Igel	-2,3	0,1494
niesen	-1,7	0,0716

Tabelle 6.5: Die Steigung m an der Stelle $y = 0,5$ der Wörter des OlakS für die Probandengruppe der NH und die ermittelten L_{50} -Werte in dB SNR (gerundet auf eine Nachkommastelle). Die Wörter sind von der höchsten zur niedrigsten Steigung absteigend angeordnet.

Wort	Steigung	L_{50}
Kellner	0,6531	-6,1
jagen	0,3527	-7,3
Ärztin	0,3152	-12,0
Elch	0,2826	-12,1
Bär	0,2669	-7,0
Hund	0,2447	-7,3
Köchin	0,2395	-3,6
Panda	0,2363	-11,6
Gärtner	0,2161	-8,8
trösten	0,2132	-13,0
Frosch	0,2093	-18,2
tröstet	0,2020	-16,0
wecken	0,1939	-5,7
gähnen	0,1887	-6,7
Fuchs	0,1878	-19,1
lächelt	0,1784	-9,7
zittert	0,1771	-13,2
malen	0,1730	-5,6
jubelt	0,1708	-7,0
tadelt	0,1538	-8,9
Metzger	0,1525	-11,0
treten	0,1497	-12,3
Igel	0,1494	-2,3
küssen	0,1450	-11,7
Esel	0,1370	-7,7
Hase	0,1353	-13,7
jubeln	0,1339	-3,6
Tiger	0,1321	-11,2
niesen	0,0716	-1,7

6.2.2 Analyse der relativen Wortverständlichkeit

Um im Folgenden alle Probanden und alle Wörter in die Analyse einschließen zu können, wird die relative Häufigkeit richtiger Antworten für jeden Probanden ermittelt. Die Ergebnisse der L_{50} -Werte und der relativen Häufigkeit richtiger Antworten sollten miteinander korrespondieren, so dass Wörter mit einem niedrigen L_{50} -Wert (daher bei sehr niedrigem SNR sehr gut verstanden) einen hohen Anteil an korrekten Antworten aufweisen sollten. Die Ergebnisse für den Anteil der richtigen Antworten für alle Wörter zusammen sind Abbildung 6.3(a) zu entnehmen, die Werte für OLSA und OlakS getrennt, sind in Abbildung 6.3(b) zu finden.

Die Anteile korrekter Antworten der CI-Träger sind geringer als die der Normalhörenden (Abb. 6.3, Tab. 6.6). Dieser Unterschied ist signifikant ($U(10,10) = 5$, $p < 0,01$). Der Unterschied der Anteile korrekter Antworten für die Wörter aus dem OlakS und der Anteile korrekter Antworten für die Wörter aus dem OLSA ist nicht signifikant bei der Gruppe der CI-Träger ($U(10,10) = 47$, $p = 0,85$) und bei der Gruppe der Normalhörenden ($U(10,10) = 33$, $p = 0,21$). Allerdings unterscheiden sich die Anteile korrekter Antworten der Probandengruppen signifikant für die Wörter aus dem OlakS ($U(10,10) = 4$, $p < 0,01$) und für die Wörter aus dem OLSA ($U(10,10) = 12$, $p < 0,01$).

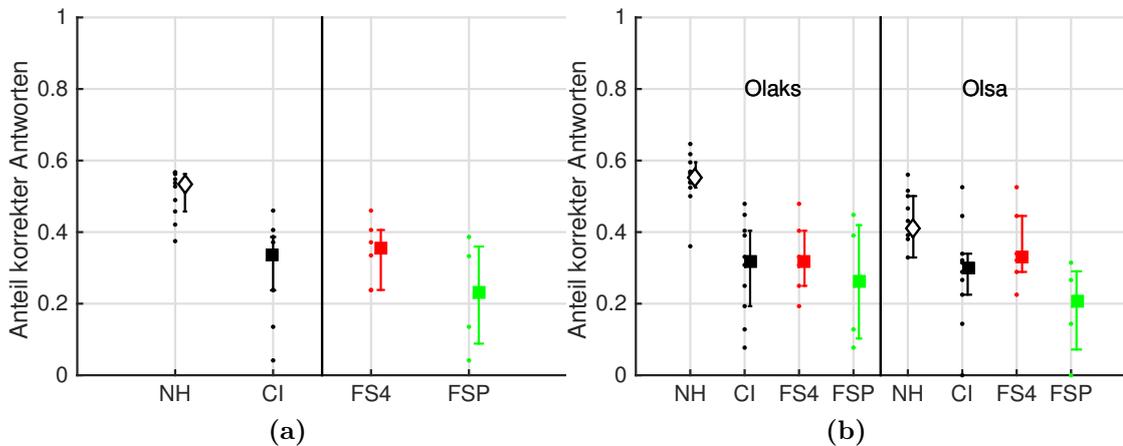


Abbildung 6.3: (a) Anteil korrekter Antworten von Normalhörenden und CI-Trägern. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane. Die Ergebnisse der CI-Träger sind zudem unterteilt in die Kodierungsstrategien FS4 und FSP. (b) Anteil korrekter Antworten unterteilt in Wörter des OLSAs und des OlakSs.

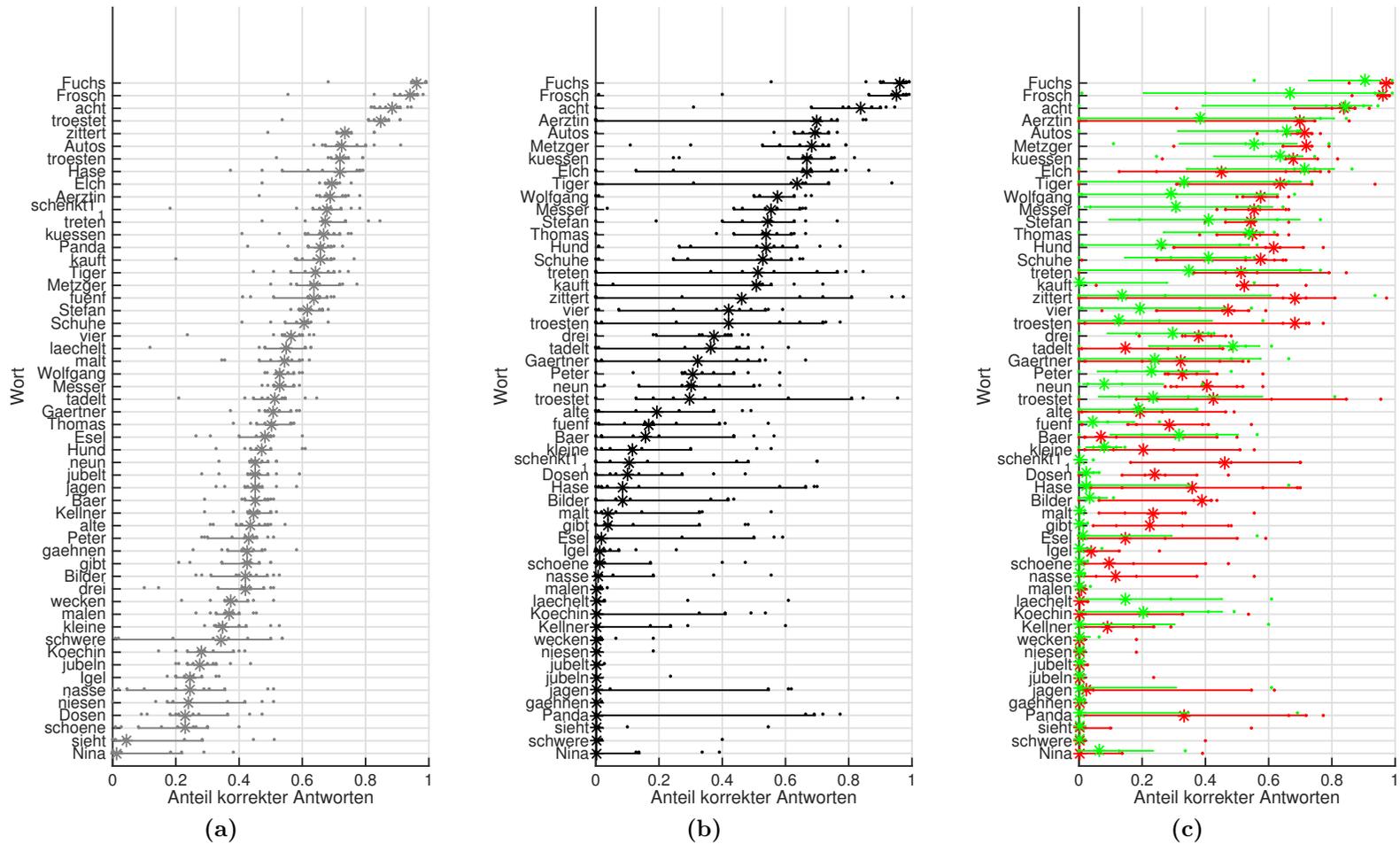


Abbildung 6.4: Anteil korrekter Antworten für jedes Wort. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die Interquartilbereiche mit Median für jedes Wort für (a) die Probandengruppe der Normalhörenden, (b) die Probandengruppe der CI-Träger, (c) die Probandengruppen der CI-Träger mit unterschiedlichen Kodierungsstrategien (grün: FSP, rot: FS4). Die Wörter wurden aufsteigend nach dem Anteil korrekter Antworten angeordnet.

Die Reihenfolge der Wörter, geordnet nach dem Anteil korrekter Antworten, sind für die Probandengruppen der Normalhörenden, der CI-Träger und der Gruppen mit den Kodierungsstrategien FS4 und FSP in Abbildung 6.4 zu sehen.

Um beide Probandengruppen näher zu beleuchten, werden die Anteile korrekter Antworten jedes Probanden für jedes Wort ermittelt (vgl. Abb. 6.5). Die Probandengruppe der Normalhörenden zeigt sich bei Betrachtung der Interquartilbereiche jedes Probanden als sehr homogen (vgl. Abb. 6.5 (a)).

Die CI-Träger hingegen zeigen sehr große inter- sowie auch intraindividuelle Unterschiede (vgl. Abb. 6.5(b)). Dies zeigt sich durch die sehr viel größeren Interquartilbereiche der CI-Träger. Jeder CI-Träger hat bei anderen Wörtern Probleme und auch jeder CI-Träger kann unterschiedliche Wörter besonders gut verstehen. Die Unterschiede zwischen den Kodierungsstrategien zeigen, dass die Probanden

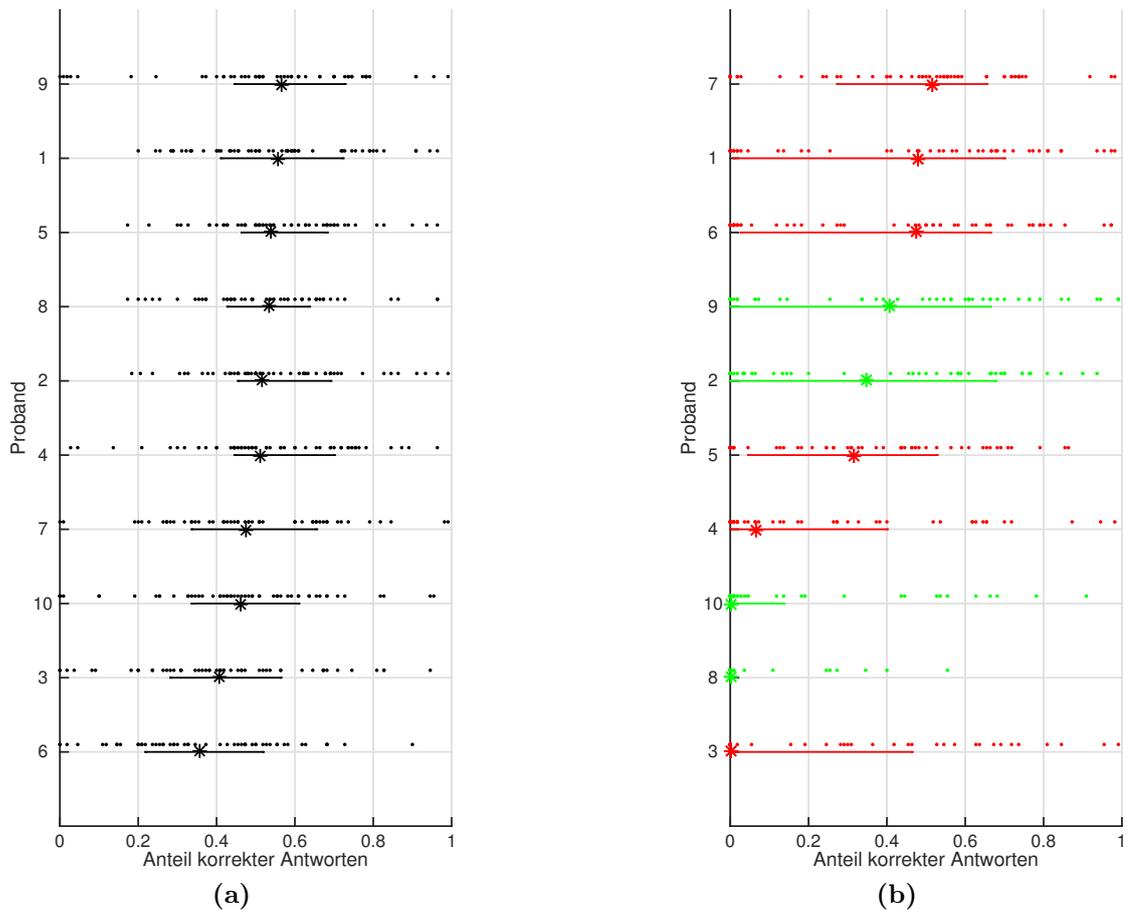


Abbildung 6.5: Anteil korrekter Antworten für jeden Probanden, getrennt nach (a) Normalhörenden und (b) CI-Trägern (rot: FS4, grün: FSP). Dargestellt sind die Anteile korrekter Antworten jedes Probanden bei den einzelnen Wörtern und die Interquartilbereiche mit Median für jeden Probanden. Die Ergebnisse sind nach den Medianen der Anteile korrekter Antworten der Probanden angeordnet.

mit der Kodierungsstrategie FS4 besser abschneiden als die Probandengruppe mit

FSP. Allerdings kann den Abbildungen auch entnommen werden, dass zwei der vier Probanden mit FSP sehr schlecht waren, die anderen zwei liegen mit ihren Antworten im Bereich der Probanden mit FS4. Aufgrund dieser Heterogenität wird auf inferenzstatistische Methoden bei der Untersuchung der Kodierungsstrategien verzichtet, da das Abschneiden durch eine weitere beeinflussende Variable (Kovariate), etwa das Alter, eine Rolle spielen kann. Aufgrund der kleinen Stichprobe wird dieser Einfluss aber nicht berechnet. Die Ergebnisse werden deskriptiv beschrieben.

6.2.3 Auswertung nach phonetischen Aspekten

Für die Auswertung im folgenden Abschnitt wurden die Wörter in Gruppen hinsichtlich phonetischer Aspekte unterteilt. Dies waren zum einen die Silbenanzahl pro Wort (Ein- und Zweisilber). Des Weiteren wurden die Wörter in die Konsonantengruppen *Nasale*, *Frikative*, *Plosive*, *Plosiv/Frikativ* eingeteilt. Die Zuteilung erfolgte nach der Mehrzahl der Konsonanten einer Gruppe pro Wort. Die Vokale wurden ebenfalls betrachtet, hierfür wurden die Wörter nach dem Vokal der betonten Silbe in Gruppen eingeteilt. Vokale, deren erster und zweiter Formant sehr nahe beieinander liegen (vgl. Abb. 3.1), wurden einer Gruppe zugeordnet. Dabei wurde auch eine Gruppe *Diphthonge* gebildet, auf die Rolle des zweiten Vokals innerhalb eines Diphthongs, dessen Rolle als Vokal nicht unumstritten ist (Hirsch-Wierzbicka, 1971, S. 14f.) soll in dieser Arbeit nicht eingegangen werden. Die Zuordnung der Wörter zu den jeweiligen Gruppen ist im Anhang unter B zu finden. Die Ergebnisse für die Silbenanzahl, Konsonantengruppen und Vokalgruppen sind Abbildung 6.6 zu entnehmen.

Die Einsilber wurden in beiden Probandengruppen besser verstanden als die Zweisilber (vgl. Tab. 6.7, Abb. 6.6(a)), dieser Unterschied ist signifikant für die Probandengruppe der Normalhörenden ($U(10,10) = 17$, $p = 0,01$) und für die Probandengruppe der CI-Träger auf einem Signifikanzniveau von 10 % ($U(10,10) = 26$, $p = 0,08$).

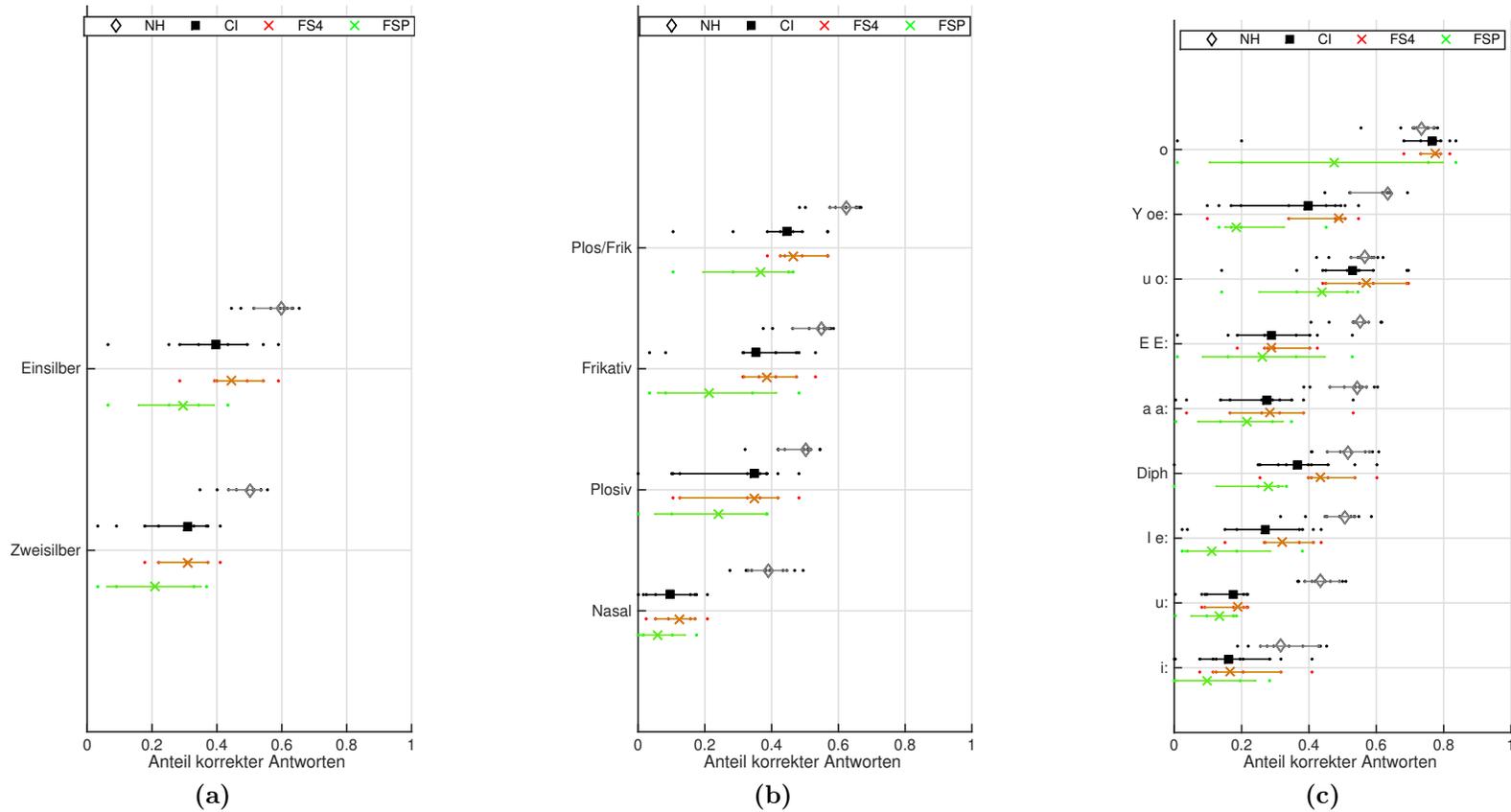


Abbildung 6.6: Anteil korrekter Antworten für die Wörter, aufgeteilt nach (a) Silbenanzahl, (b) dominierende Konsonantengruppe pro Wort und (c) Vokal der betonten Silbe. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane für die Probandengruppe der Normalhörenden und die Probandengruppe der CI-Träger. Die Ergebnisse der CI-Träger sind zudem unterteilt in die Ergebnisse für die Probandengruppen mit der Kodierungsstrategie FS4 und FSP. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Normalhörenden. Die Untersuchung mit einem Kruskal-Wallis-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen Ein- und Zweisilbern für die Probandengruppe der Normalhörenden und für die Probandengruppe der CI-Träger und einen signifikanten Unterschied für die Konsonanten und die Vokale.

Tabelle 6.7: Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach der Silbenanzahl (vgl. Abb. 6.6(a)). +, ** zeigen signifikante bzw. hochsignifikante Ergebnisse auf einem Signifikanzniveau von $p = 0,10$ und $p = 0,01$ an.

	NH (N = 10)			CI (N = 10)		
	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$
Einsilber	0,51	0,6	0,63	0,29	0,40	0,50
Zweisilber	0,44	0,50	0,54	0,18	0,31	0,37

Tabelle 6.8: Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach den das Wort dominierende Konsonanten (vgl. Abb. 6.6(b)). * geben signifikante Unterschiede mit dem Mann-Whitney U Test auf einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ an.

	NH (N = 10)			CI (N = 10)		
	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$
Nasale	0,33	0,39	0,45	0,02	0,10	0,17
Frikative	0,46	0,55	0,57	0,31	0,35	0,47
Plosive	0,42	0,50	0,52	0,10	0,35	0,39
Plos/Frik	0,57	0,62	0,66	0,39	0,45	0,50

Die Konsonanten wurden unterschiedlich gut verstanden (vgl. Tab. 6.8(b) und Abb. 6.6(b)). Ein Kruskal-Wallis-Test ergab, dass die Ergebnisse der CI-Träger für die Konsonanten signifikant aus unterschiedlichen Verteilungen stammen ($H(3) = 15,9$, $p < 0,01$). Post-Hoc Tests mit dem Mann-Whitney U Test und der Bonferoni-Korrektur ($\alpha_{neu} = \alpha / (\sum(U\ Tests)) = 0,05/6 = 0,0083$) ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe der Nasale und der Gruppe der Frikative ($U(10,10) = 13$, $p < \alpha_{neu}$) sowie zwischen der Gruppe der Nasale und der Plosiv-Frikativ-Gruppe ($U(10,10) = 4$, $p < \alpha_{neu}$).

Die Ergebnisse der Normalhörenden für die Konsonanten-Gruppen stammen ebenfalls alle signifikant aus unterschiedlichen Verteilungen ($H(3) = 22,0$, $p < 0,01$, vgl. Abb. 6.6(b) und Tab. 6.8). Post-Hoc Tests mit dem Mann-Whitney U Test und der Bonferoni-Korrektur ($\alpha_{neu} = \alpha / (\sum(U\ Tests)) = 0,05/6 = 0,0083$) ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe der Nasale und der Gruppe der Frikative ($U(10,10) = 12$, $p < \alpha_{neu}$) sowie zwischen der Gruppe der Nasale und der Plosiv-Frikativ-Gruppe ($U(10,10) = 1$, $p < \alpha_{neu}$). Ebenfalls signifikant unterschieden sich die Gruppen der Plosive und der Plosiv-Frikative ($U(10,10) = 11$, $p < \alpha_{neu}$). Die Ergebnisse für die Vokal-Gruppen der Normalhörenden stammen signifikant aus unterschiedlichen Verteilungen ($H(8) = 54,51$, $p < 0,01$, vgl. Abb. 6.6(c) und Tab. 6.9). Mit dem Post-hoc Test Mann-Whitney U und nach Bonfe-

Tabelle 6.9: Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach den Vokalen der betonten Silbe (vgl. Abb. 6.6(c)).

	NH (N = 10)			CI (N = 10)		
	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$
i:	0,26	0,32	0,42	0,001	0,13	0,23
u:	0,39	0,43	0,49	0,08	0,16	0,28
I e:	0,45	0,51	0,54	0,15	0,27	0,38
Diph	0,45	0,51	0,58	0,25	0,37	0,46
a a:	0,46	0,54	0,57	0,14	0,28	0,35
E E:	0,53	0,55	0,58	0,19	0,29	0,40
u o:	0,53	0,56	0,59	0,44	0,53	0,59
Y oe:	0,52	0,63	0,64	0,17	0,40	0,50
o	0,71	0,74	0,77	0,68	0,77	0,79

roni korrigiertem Alpha ($\alpha_{neu} = 1.24 \cdot 10^{-6}$) ist kein Vergleich der Vokalgruppen signifikant. Die Probandengruppen der Vokale bei den CI-Trägern stammen signifikant aus unterschiedlichen Verteilungen ($H(8) = 33,52$, $p < 0,01$, vgl. Abb. 6.6(c) und Tab. 6.9) – auch hier ist aufgrund der großen Gruppenanzahl das korrigierte Alpha-Niveau so klein, dass keiner der Vergleiche auf Post-hoc Ebene signifikant ist.

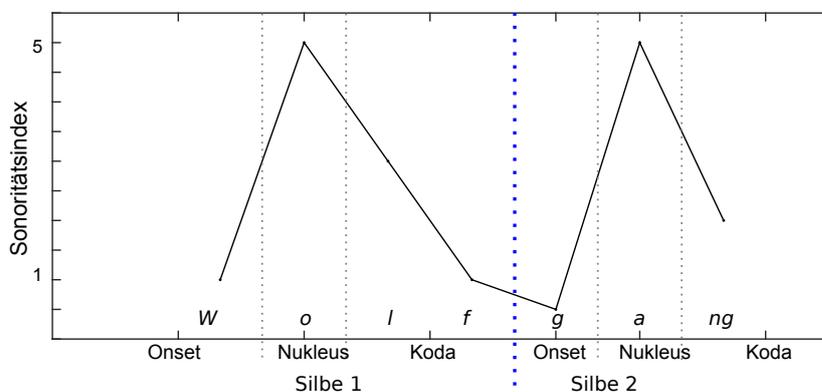


Abbildung 6.7: Sonoritätsverlauf am Beispiel des Wortes „Wolfgang“. Auf der Ordinate ist die Zuordnung der Laute zum Sonoritätsindex nach Clements (1990) aufgetragen, die Abszisse zeigt die Abfolge der Laute. Gekennzeichnet sind die Bereiche für Silbenonset, -nukleus und -koda. Die blau gestrichelte Linie zeigt die Silbengrenze an.

Im Folgenden wird der Zusammenhang zwischen dem Verständlichkeitsrang der Wörter und der Beschaffenheit der Wörter mit Hilfe des mittleren Sonoritätsindex ermittelt. Parker (2002) gibt einen Überblick über die Möglichkeiten, Sonorität zu quantifizieren, insbesondere die Methoden von Clements (1990) und Selkirk (1984) werden hervorgehoben (Parker, 2002, S. 19,76). In dieser Arbeit wird der Sonoritätsindex nach Clements (1990) herangezogen, da Selkirk (1984) zwar eine genauere Unterteilung der Lautklassen vornimmt, diese aber für das Deutsche ungeeignet ist. So fehlt etwa die Zuordnung von /sch/. Für die Sonorität eines Wortes wird nun für jedes Wort in Anlehnung an Clements (1990) in Parker (2002) der mittlere Sonoritätsindex berechnet. Dabei wird der Sonoritätsindex von Clements (1990) modifiziert, da dort keine Unterscheidung zwischen Frikativen und Plosiven getroffen wird. Frikative erhalten das Gewicht 1 und Plosive das Gewicht 0,5. Jede Lautklasse erhält aufgrund ihrer Sonorität eine Zuordnung zu den Zahlen 0,5 bis 5, wobei den Plosive das Gewicht 0,5 und den Vokalen das Gewicht 5 zugeordnet wird. Mit diesen Werten wird der mittlere Sonoritätsindex jedes Wortes berechnet, die Rangordnung nach Verständlichkeit wird Abbildung 6.4(a) für Normalhörende und (b) für CI-Träger entnommen. Anschließend werden die mittleren Sonoritätsindizes der Wörter über den Verständlichkeitsrängen betrachtet (Abbildung 6.8). Hierfür werden die 54 Wörter in drei gleichmäßig große Gruppen nach Verständlichkeitsrang eingeteilt.

Mit der Bonferoni-Korrektur ist das 5% Signifikanzniveau nun $\alpha_{neu} = 0,05/3 = 0,017$, für das Signifikanzniveau von 10% ergibt sich $\alpha_{neu2} = 0,1/3 = 0,033$. Bei den Normalhörenden unterscheidet sich der mittlere Sonoritätsindex der ersten 18 Plätze signifikant von den letzten 18 Plätzen ($U(18,18) = 50,5$, $p < \alpha_{neu}$) und von den mittleren Plätzen ($U(18,18) = 50$, $p < \alpha_{neu}$). Es belegen vor allem Wörter vordere Ränge, die einen steilen Sonoritätsanstieg und -abfall innerhalb der Silben aufweisen. Zudem sind auch die Wörter, die eine Verletzung des Sonoritätsprinzips aufweisen, also besonders auffällig sind, dort zu finden. Die hinteren Ränge werden von Wörtern besetzt, die in der ersten Silbe nur einen Anstieg aufweisen und eine leere Koda haben, die zweite Silbe jedoch einen An- und Abstieg der Sonorität aufweist, der allerdings nicht steil sein muss. Der Zusammenhang zwischen Sonorität und Verständlichkeit ist Abbildung 6.8 zu entnehmen.

Bei der Gruppe der CI-Träger unterscheidet sich der mittlere Sonoritätsindex der ersten 18 Plätze signifikant von den letzten 18 Plätzen ($U(18,18) = 45$, $p < \alpha_{neu}$) und von den mittleren 18 Plätzen auf einem Signifikanzniveau von 10% ($U(18,18) = 93$, $p < \alpha_{neu2}$).

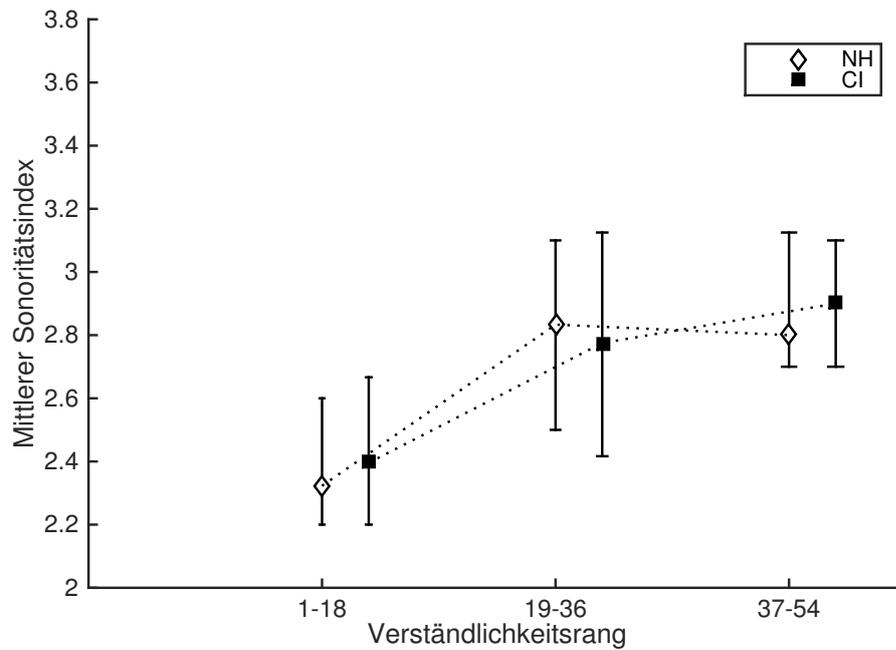


Abbildung 6.8: Median und Interquartilbereiche der mittleren Sonoritätsindizes für die Verständlichkeitsränge 1-18, 9-36, 37-54. Für die der Darstellung zu grunde liegenden Daten wurden die Rangplätze 1-54 aus Abbildung 6.4 in drei gleich große Gruppen geteilt. Die Ergebnisse sind sowohl für die Gruppe der Normalhörenden als auch für die der CI-Träger gezeigt. Die CI-Träger zeigen einen linearen Zusammenhang zwischen der Verständlichkeit und der Kenngröße der Wörter: Je größer der mittlere Sonoritätsindex, umso schlechter werden die Wörter verstanden. Die Normalhörenden zeigen keinen Unterschied zwischen mittlerer Verständlichkeit und schlechter Verständlichkeit und dem mittleren Sonoritätsindex. Hier findet sich eher eine Zweiteilung der Daten, zwischen gut verständlichen und den nicht gut verständlichen Wörtern.

6.2.4 Auswertung nach semantischen Aspekten

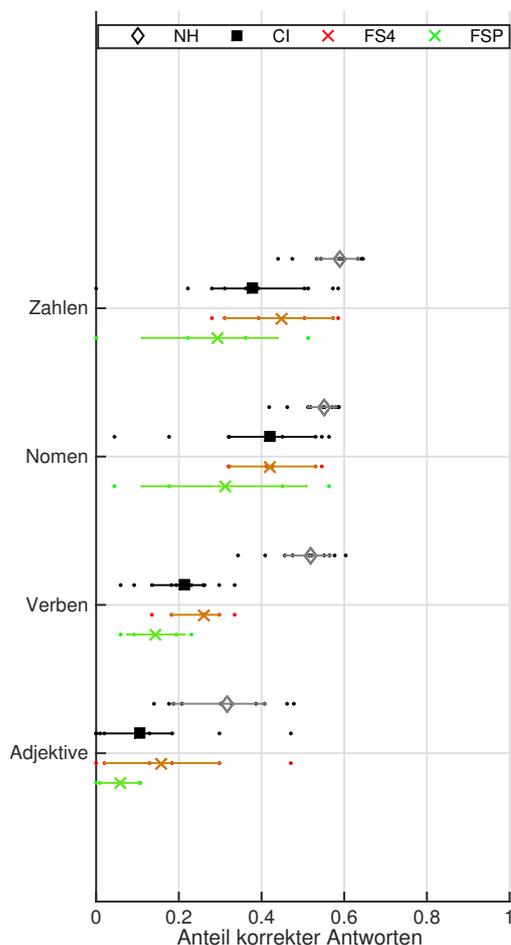


Abbildung 6.9: Anteil korrekter Antworten, getrennt nach semantischen Eigenschaften. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane für die Probandengruppe der Normalhörenden und die Probandengruppe der CI-Träger. Die Ergebnisse der CI-Träger sind zudem unterteilt in die Ergebnisse für die Probandengruppen mit der Kodierungsstrategie FS4 und FSP. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Normalhörenden. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Normalhörenden.

Für die Auswertung im folgenden Abschnitt wurden die Wörter den semantischen Gruppen *Zahlen*, *Verben*, *Nomen* und *Adjektive* zugeordnet, die Ergebnisse für die Probandengruppen sind in Abbildung 6.9 zu sehen.

Die Ergebnisse der Normalhörenden, getrennt nach semantischen Gruppen, stammen signifikant aus unterschiedlichen Verteilungen ($H(3) = 20,57$, $p < 0,01$, vgl. Abb. 6.9 und Tab. 6.10). Post-hoc Tests mit der Bonferoni-Korrektur ($\alpha_{neu} =$

Tabelle 6.10: Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach semantischen Eigenschaften der Wörter (vgl. Abb. 6.9). * geben einen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe der Adjektive und der entsprechenden anderen Gruppe mit dem Mann-Whitney U Test und der Bonferoni-Korrektur des Signifikanzniveau von 5% an.

	NH (N = 10)				CI (N = 10)		
	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$		$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$
Adjektive	0,19	0,32	0,41	}*	0,01	0,11	0,18
Verben	0,46	0,52	0,56		0,13	0,21	0,26
Nomen	0,51	0,55	0,58		0,32	0,42	0,53
Zahlen	0,53	0,59	0,63		0,28	0,38	0,51

$\alpha/(\sum(U Tests)) = 0,05/6 = 0,0083$) ergaben: Der Median der Gruppe der Adjektive unterscheidet sich jeweils signifikant von dem der Gruppe der Verben ($U(10,10) = 9, p < \alpha_{neu}$), der Nomen ($U(10,10) = 3, p < \alpha_{neu}$) und der Zahlen ($U(10,10) = 3, p < \alpha_{neu}$).

Die Ergebnisse der CI-Träger, getrennt nach semantischen Gruppen, stammen signifikant aus unterschiedlichen Verteilungen ($H(3) = 13,84, p < 0,01$). Der Median der Gruppe der Adjektive und der der Nomen unterscheiden sich signifikant ($U(10,10) = 14, p < \alpha_{neu}$).

Für das Signifikanzniveau von 10% ergibt sich $\alpha_{neu2} = 0,1/6 = 0,017$. Die Mediane der Adjektive und Zahlen unterscheiden sich signifikant ($U(10,10) = 16, p < \alpha_{neu2}$), ebenso die der Verben und Zahlen ($U(10,10) = 18, p < \alpha_{neu2}$). Der Unterschied zwischen Verben und Nomen ist knapp nicht mehr signifikant ($U(10,10) = 19, p = 0,02$).

6.3 Diskussion

Die Wichtigkeit der Messung von Sprachverständlichkeit im Störgeräusch zeigt sich darin, dass sie nicht mit einem Tonaudiogramm erfassbar ist, da hier auch andere kognitive Fähigkeiten gebraucht werden (Holube und Kollmeier, 1994), wie Abgleich des Gehörten mit dem Lexikon oder Speichern der gehörten Information, und es somit unerlässlich ist, über die Hörfähigkeit hinaus eine Aussage über die Sprachverständlichkeit des jeweiligen Patienten zu erhalten. Die Sprachverständlichkeit, genauer gesagt, die Wortverständlichkeit im Störgeräusch, wurde in diesem Kapitel bei CI-Trägern und Normalhörenden untersucht. Hierfür wurde für jedes Wort aus einem zuvor ausgewählten Wortmaterial, bestehend aus 54 Wörtern, die psychometrische Funktion ermittelt, die L_{50} -Werte und die Steigungen der psychometrischen Funktion in diesem Punkt bestimmt.

6.3.1 Wortverständlichkeitsschwellen und Steigungen

Der hier verwendete SNR-Bereich für die OLSA-Wörter ist mit dem bei Wagner et al. (1999b) vergleichbar: Dort wurden bei 8 SNRs im Bereich von -2 bis -14 dB SNR gemessen. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den für die Wörter ermittelten Steigungen der CI-Träger und der Normalhörenden gefunden werden. Dies bedeutet, dass sich die Wörter für beide Probandengruppen ähnlich schwer bzw. leicht erwiesen haben. Dies zeigt, dass die Wörter für beide Probandengruppen als Testsetup genutzt werden können. Allerdings weisen die Steigungen bei den CI-Trägern im Vergleich zu den Normalhörenden eine sehr viel größere Streuung auf, obwohl nicht die Antworten aller Probanden in die Ermittlung der psychometrischen Funktion eingeflossen sind. Die Streuungen der Wortverständlichkeitsschwellen (L_{50} -Werte) sind in dieser Arbeit sowohl bei den CI-Trägern als auch bei den Normalhörenden sehr viel größer als z.B. bei Bilger et al. (1998), die ein homogenes Testset aus einem bereits bestehenden Set aus zweisilbigen Wörtern bestimmen, welches nur eine Streuung von 1,01 dB der Wortverständlichkeitsschwellen (L_{50} -Werte) aufweist. Allerdings wurden die Wörter des in dieser Arbeit genutzten Sprachmaterials nicht einzeln aufgesprochen, sondern aus bestehenden Sätzen ausgeschnitten, so dass sich die breitere Streuung erklären lassen kann.

Die Vergleiche der vorliegenden Werte zwischen den Probandengruppen können nur unter Vorbehalt interpretiert werden, da bei den Ergebnissen der CI-Träger aufgrund von Ausschlusskriterien nicht alle Wörter und bei den in die Analyse eingeflossenen Wörtern nicht die Antworten aller Probanden enthalten waren.

6.3.2 Relative Wortverständlichkeit

Um bei der Auswertung alle Probanden und Wörter berücksichtigen zu können, wurden die Wortverständlichkeiten anhand der relativen Häufigkeiten richtiger Antworten untersucht.

Vergleicht man die Rangordnung der Wörter nach aufsteigenden L_{50} -Werten und nach aufsteigenden Anteilen korrekt verstandener Wörter bei den Normalhörenden, so finden sich die gleichen Wörter an Spitzenpositionen und Endpositionen. Dies zeigt, dass die Analyse der Anteile korrekter Antworten, wie sie hier vorgenommen wurde, eine mit den L_{50} -Werten vergleichbare Analyse ist, unter den genannten Vorteilen jedoch der Analyse der L_{50} -Werte vorzuziehen ist. Zwar ist kein Vergleich zwischen den Gruppen möglich, aber der Vergleich innerhalb der Gruppen ist präziser möglich, da die Antworten aller Probanden berücksichtigt werden können.

Der Vergleich der Anteile korrekter Antworten der Einzelwörter für beide Probandengruppen zeigt, dass die CI-Träger bei jedem Wort einen sehr viel größeren Interquartilbereich aufweisen als die Normalhörenden. Die interindividuellen Unterschiede der CI-Probanden sind also sehr groß, dies wurde ebenfalls schon bei anderen Studien festgestellt (Friesen et al., 2001; van Hoesel et al., 2008; Stilp et al., 2013). Die Probanden sind untereinander sehr verschieden und es kann auch schlecht eine Vorhersage getroffen werden, wie sich einzelne gut verstandene Wörter auf die Verständlichkeit von anderen Wörtern auswirken. D.h. jeder CI-Proband hat Wörter, die gut verstanden werden und andere, die nicht gut verstanden werden. Diese unterscheiden sich aber von Proband zu Proband. Bei den Normalhörenden ist der Interquartilbereich kleiner als bei den CI-Trägern, die Probandengruppe der Normalhörenden ist homogener. Die Anfangs- und Endpositionen der Rangordnung der Wörter sind bei beiden Probandengruppen mit den gleichen Wörtern belegt (*Frosch*, *Fuchs*, *acht* am Anfang).

Die Wörter *sieht* und *Nina* waren in beiden Probandengruppen die am schlechtesten verstandenen Wörter. Das Wort *sieht* wurde in den häufigsten Fällen mit *zieht* verwechselt, dieser Fehler kann durch das Ausschneiden des Wortmaterials aus den Sätzen kommen und das Fehlen des stimmhaften Anteils führt zu einer Verwechslung des /s/ zu einem /ts/. Strand et al. (2014) zeigten in einer Verständnisstudie, dass Wörter, die weniger Konkurrenten (phonetischer Art) in der gleichen Wortart haben, besser erkannt / verstanden werden als andere. Dies ist bei *Fuchs*, *Frosch* und *acht* der Fall. Verwechslungen von Wörtern aufgrund von Lautverwechslungen in der gleichen Wortart sind bei *Frosch* und *acht* nicht möglich. Das Wort „Fuchs“ hat nur den Konkurrenten „Luchs“.

6.3.3 Unterschiede zwischen OLSA und OlakS-Material

Unterschiede zwischen OLSA- und OlakS-Material, in diesem Fall auch Unterschiede zwischen Männer- und Frauenstimmen, können auf Grundfrequenzunterschiede zurückgeführt werden. Männerstimmen haben in etwa eine Grundfrequenz von 120 Hz und Frauenstimmen eine von 210 Hz / 230 Hz (Traunmüller und Eriksson, 1995; Pompino-Marschall, 2009, S. 35). Brown und Bacon (2010) stellen fest, dass es noch einen großen Verbesserungsbedarf bei der Übertragung von Feinstruktur und damit auch bei der Grundfrequenz bei CIs gibt. Denn die Standardeinstellung der CIs beginnt bei 100 Hz. Die fehlende bzw. nicht vollständige Übertragung wird sogar als Grund für das schlechte Abschneiden von CI-Trägern bei der Überprüfung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch angenommen (Brown und Bacon, 2010). Die Grundfrequenz wird über die Unterscheidung von Stimmen hinaus auch für die Identifizierung von Wortgrenzen und Sprechweise wichtig (Brown und Bacon, 2010). Um zwei gleichzeitig abgespielte Vokale identifizieren zu können, hilft es, wenn die Sprecher eine unterschiedliche Grundfrequenz haben (Shackleton und Meddis, 1992). Vergleicht man die Sprachverständlichkeit von unterschiedlichen Sprechern, so unterscheidet sich im Wesentlichen die Sprachverständlichkeit von männlichen und weiblichen Sprechern, das Alter des Sprechers macht hingegen keinen Unterschied (Amano-Kusumoto und Hosom, 2011). CI-Träger erreichen bei einem weiblichen Störsprecher eine höhere Sprachverständlichkeit als bei einem männlichen Störsprecher mit männlicher Zielsprache (Stickney et al., 2004). Auch bei einer CI-Simulation konnten bessere Ergebnisse in der Vokalerkennung für einen weiblichen Sprecher als für einen männlichen Sprecher erzielt werden (Faulkner et al., 2000). Diese Ergebnisse finden sich auch bei den Unterschieden zwischen OLSA- und OlakS-Material bei den Normalhörenden und bei den CI-Trägern: Der Anteil korrekter Antworten für die Wörter der weiblichen Sprecherin waren etwas besser als für den männlichen Sprecher. Hier zeigt sich auch, dass der Unterschied zwischen eher bekanntem (OLSA) und unbekanntem (OlakS) Material durch das Herauslösen der Wörter aus den Sätzen keine Rolle spielt, da ansonsten ein starker Vorteil für die OLSA-Wörter erwartet wird. Denn der OLSA sollte den CI-Probanden aus den Kontrolluntersuchungen der Klinik vertraut sein.

6.3.4 Phonetische Aspekte

Um phonetische Aspekte zu beleuchten, wurden die Wörter in Gruppen unterteilt, zum einen nach Silbenanzahl geordnet, zum anderen nach der dominierenden Konsonantengruppe und nach dem Vokal der betonten Silbe. Durch die Einteilung der Wörter in die Konsonantengruppen wurde in der hier vorliegenden Arbeit die Artikulationsart betrachtet, durch die Einteilung in die Vokalgruppen der Artikulationsort. Diese Betrachtung ist wichtig, da die akustische Unterscheidung von

Phonemen im Wesentlichen von der Artikulationsart, dem -ort und dem Einsatz der Stimmlippen abhängt, berichten Ritterman und Freeman (1974) nach Durchsicht der relevanten Literatur für die englische Sprache.

Einsilber vs. Zweisilber: Sowohl die Gruppe der Normalhörenden als auch die Gruppe der CI-Träger verstehen die Einsilber besser als Zweisilber. Auch Kliem und Kollmeier (1994) finden eine bessere Verständlichkeit von Einsilbern im Vergleich zu Zweisilbern bei Wörtern des gleichen Sprechers.

In dieser Arbeit waren jedoch sowohl bei den Ein- als auch bei den Zweisilbern Wörter eines männlichen und eines weiblichen Sprechers dabei. Unterschiede in der Wortverständlichkeit, die auf Sprecher unterschiedlichen Geschlechts zurückzuführen sind, sind geringer für Zweisilber als für Einsilber (Bilger et al., 1998). Die Zweisilber machten in der vorliegenden Arbeit den größten Anteil mit 39 Wörtern aus, zehn der einsilbigen Wörter waren von einem männlichen und fünf von einem weiblichen Sprecher gesprochen, so dass der Unterschied aufgrund des Sprechers nicht allzu sehr zum Tragen kommen sollte, was die geringe Streuung der Daten auch zeigt.

Konsonanten: Die Gruppe von Wörtern, in denen Plosive und Frikative am häufigsten vorkamen, war in beiden Probandengruppen die am besten verstandene, gefolgt von den Frikativen. Am schlechtesten wurden die Nasalwörter verstanden, etwas besser waren die Wörter mit Plosiven. Auch bei der Verständlichkeit von Logatomen erwiesen sich Nasale und Plosive als die am schlechtesten verstandenen Konsonanten (Jürgens et al., 2008).

Werden Nasale im Störgeräusch verwechselt, so bleiben die Verwechslungen sehr häufig innerhalb der Lautklasse der Nasale, bei Plosiven ist dies nicht der Fall, Verwechslungen innerhalb der Lautklasse sind selten (Gelfand et al., 1986). Die Art der Verwechslungen wurde in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht ausgewertet, sondern beide Arten wurden als Fehler gewertet. Aufgrund der spektralen Dämpfung ist es nicht verwunderlich, dass Nasale besonders schwer im Störgeräusch richtig verstanden werden. Um einen Plosiv richtig identifizieren zu können, bleibt sehr wenig Zeit, daher kommt es wohl häufiger zu lautklassenübergreifenden Verwechslungen. Dies erscheint folgerichtig für Tests auf Silbenebene. Bei Tests auf Wortebene kommt es zu Verwechslungen mit Lauten, die dazu führen, dass wiederum ein sinnvolles Wort entsteht (*wecken* für *wetten*, *Hosen* für *Dosen*). Konsonanten mit niederfrequenten Hinweisreizen (wie /sch/ und /r/) sind mit weniger Fehlern behaftet als Konsonanten mit hochfrequenten Anteilen oder Plosive. /z/ und /s/ konnten bei Probanden mit Hörhilfe nur eine geringe Verbesserung in der Erkennungsrate aufweisen, wohingegen die Plosive davon profitierten (Woods et al., 2015a). So sind in der vorliegenden Arbeit die Ergebnisse im Mittel für die CI-Träger für Plosive etwas besser als für die Frikative, jedoch weisen die Plosive eine große Streuung auf. Dies kann darauf hindeuten, dass nicht alle Probanden

auf die gleiche Weise von der Versorgung mit dem CI profitieren.

In Studien, die die Verständlichkeit von Konsonanten in Vokalumgebung bei CI-Trägern testen, wie etwa Fu und Shannon (1999a,b), werden die Konsonanten in /a/-Umgebung getestet. Die Erstellung des dazugehörigen Materials wird in Shannon et al. (1999) vorgenommen. Wagner et al. (2006) fanden einen Unterschied bei Sprechern verschiedener europäischer Sprachen (deutsch, niederländisch, polnisch, spanisch, englisch) in Abhängigkeit vom Vorhandensein spektral ähnlicher Frikative in der jeweiligen Muttersprache. Im Deutschen spielen die Formantübergänge für das Erkennen von Frikativen keine Rolle, da es nur Frikative gibt, die spektral sehr unterschiedlich sind (Wagner et al., 2006). Dies kann eine Erklärung dafür sein, dass die Frikativwörter sehr gut in beiden Probandengruppen verstanden werden. Denn Formantübergänge sind sehr kurz und wahrscheinlich von CI-Trägern nicht gut zu analysieren, werden sie jedoch nicht für die Identifikation gebraucht, kann auf andere Hinweise geachtet werden, die helfen, den richtigen Laut zu identifizieren.

Woods et al. (2015a) zeigten, dass auch schon mit Tests auf Logatomebene für Konsonanten Aussagen über die Satzverständlichkeit abgeleitet werden können. Bei älteren hörgeschädigten Personen ohne Hörgerät zeigten sich sehr viel schlechtere Konsonantenerkennungsraten, sehr viel flachere Steigungen bei psychometrischen Funktionen als bei Normalhörenden der gleichen Altersgruppe. Wurden die Probanden jedoch mit einem Hörgerät versorgt, so glichen sich die Erkennungsraten denen der Normalhörenden an (Woods et al., 2015a).

Dies bezieht sich jedoch nur auf Hörgeräte, es werden keine Aussagen über CI-Träger gemacht. Es kann zwar angenommen werden, dass CI-Träger sich zwar bis zu einem gewissen Maße ähnlich verhalten wie Hörgeräteträger, aber keine komplette Angleichung an die Normalhörenden mit dem Implantat erreicht werden kann. Woods et al. (2010) konnten für die unterschiedlichen Konsonanten Verständlichkeitsschwellen finden, die sehr stark variierten. In ihrer Studie verglichen Gelfand et al. (1986) die Erkennungsraten von Konsonanten in CV- und VC-Silben im Störgeräusch (Cafeteria-Rauschen) bei jungen und älteren Normalhörenden. Es konnten ähnliche Fehler- und Verwechslungsmuster gefunden werden, die mit zunehmendem Alter ansteigen. Stimmlose Konsonanten wurden in allen Altersgruppen weniger oft korrekt wiedergegeben als stimmhafte. Konsonanten in VC-Silben werden ebenfalls schlechter erkannt als in CV-Silben.

Vokale: Woods et al. (2010) stellten einen Einfluss der Vokalumgebung auf die Konsonantenverständlichkeit fest. Plosive, Liquide und Frikative werden in Silben mit einem /i/ besser erkannt, /a/ hat einen positiven Einfluss auf die Verständlichkeit von Nasalen und /u/ auf die Frikative /f,v/ (Woods et al., 2010). In dieser Arbeit wurden die Vokale des Deutschen fast vollständig abgedeckt und es konnten Unterschiede in der Verständlichkeit der Wörter gefunden werden. Dabei wurden

sich hinsichtlich der Frequenz von erstem und zweiten Formanten ähnelnde Vokale zusammengefasst. Am schwierigsten erwies sich für beide Probandengruppen das /i:/. Ein ähnliches Ergebnis ist bei Donaldson et al. (2013) für CI-Träger zu finden: Konsonanten in /i/-Umgebung sind am schwierigsten zu verstehen. Da Konsonanten- und Vokalverständlichkeit in der vorliegenden Arbeit zusammen für die Wortverständlichkeit eine Rolle spielen, ist durch ein schlechtes Verstehen von Konsonanten in dieser Umgebung natürlich auch die Verständlichkeit der /i/s beeinträchtigt und es schneidet so schlecht ab. Jürgens et al. (2008) hingegen zeigen, dass Logatome mit /i/ und /e/ besser verstanden werden als /o/ und /u/, diese Ergebnisse konnten jedoch von ihnen nicht mit einer Modellierung bestätigt werden. In Logatomen haben es die Probanden in der Regel nur mit einem Konsonanten zu tun, den sie erkennen müssen, im Unterschied zur Wortverständlichkeit, bei dem das komplexe Zusammenspiel der Konsonanten mit abgeprüft wird und so die schlechten Ergebnisse des /i/ erklären können. Die Besonderheit des /i:/ liegt in einem sehr tiefen ersten Formanten und einem sehr hohen zweiten Formanten; gerade der tiefe erste Formant liegt in einem Frequenzbereich, bei dem die Frequenzübertragung mit dem CI gerade erst beginnt.

Die Verständlichkeit von Konsonanten, Vokalen und Sätzen steigt mit wachsender Anzahl von Frequenzbändern (2-5) (Souza und Rosen, 2009). Wenn die Übertragung von Vokalen und Konsonanten über einen Vokoder statt findet, ist die Erkennungsrate sowohl durch Anzahl der Übertragungskanäle als auch durch Frequenzverschiebung beeinflusst (Fu und Shannon, 1999c). Die Erkennungsrate für Sätze ist ab sechs Übertragungskanälen am besten (Stilp und Goupell, 2015). Die Probandengruppe der CI-Träger hatte Probleme mit dem /oe:, Y/, hier zeigen sie eine sehr große Streuung. Die Vokale liegen zentral im Vokaltrapez, d.h. wird die Formantfrequenz eines Formanten nicht richtig übertragen durch die Lage der Elektrode, kann es hier zu einer sehr undeutlichen Wahrnehmung des Vokals kommen und schnell zu Verwechslungen mit anderen Vokalen kommen.

Die Dauer der Laute ist entscheidend für die Verständlichkeit (Fogerty und Kewley-Port, 2009), damit können Vokale besser verstanden werden als Konsonanten. Für die Worterkennung jedoch sind die Konsonanten wichtig (Stilp, 2014). Werden einzelne Phoneme in Wörtern durch weißes Rauschen ersetzt, so nehmen die Probanden das Rauschen gar nicht wahr, werden die Wörter durch das Rauschen ambig und in Sätzen präsentiert, so werden den Sätzen entsprechend semantisch passende Wörter abgerufen und das Rauschen durch das fehlende Phonem ersetzt (Stoyneshka et al., 2010): Im Satz *Der _opf steht in der Küche* wird *Topf* verstanden und nicht etwa *Kopf* oder *Zopf*, was zeigt, dass durch den semantischen Kontext eines Satzes bestimmte Wörter aktiviert werden. Werden jedoch alle Phoneme, die zu den Konsonanten gehören, durch ein Rauschen ersetzt, so ist die Verständlichkeit von Sprache besser, als wenn alle Vokale durch ein Rauschen ersetzt wurden (Co-

le et al., 1996). Daher gehen die Autoren davon aus, dass Vokale wichtiger für die Sprachverständlichkeit sind als Konsonanten. Stilp (2014) sind jedoch der Ansicht, dass die Teile mit enormem Informationsgehalt bei Veränderungen des Sprachsignals (Formanten der Vokale und Konsonant-Vokal-Übergänge) befinden und diese eine bedeutende Rolle für die Sprachverständlichkeit haben. Die Autoren konnten eine bessere Verständlichkeit von Sätzen finden, wenn weniger akustisch informationstragende Teile der Sätze durch Rauschen ersetzt wurden als die hochinformativen. CI-Träger konzentrieren sich mehr auf die Auswertung der Vokaldauer als junge Normalhörende, dies führen Donaldson et al. (2015) darauf zurück, dass CI-Trägern vor der Implantation die spektralen Hinweise fehlten oder nicht mehr in vollem Maße zugänglich waren und sie sich daher auch nach der Implantation auf einen Hinweis konzentrierten, der zuvor schon vorhanden war.

Sonorität: Die Analysen, die auf der Sonorität beruhen, zeigen, dass auch die Sonorität einen Einfluss auf die Verständlichkeit von Wörtern hat. Wörter, die einen niedrigen, mittleren Sonoritätsindex haben, sind besser verständlich als Wörter mit höherem Sonoritätsindex. Dies bedeutet, dass Wörter, in denen in den Silben ein großer Unterschied zwischen Silbenern und Konsonanten hinsichtlich des Sonoritätsindex besteht, also größere Kontraste vorhanden sind, leichter verständlich sind als andere. Dies wiederum geht in die gleiche Argumentationsrichtung wie z.B. Stilp (2014) vorschlagen: Gibt es große Veränderungen zwischen den Lauten, so tragen diese zur Verständlichkeit bei. Bei ähnlichen Lautklassen, die dann auch einen hohen Sonoritätsindex haben, wie z.B. *Nina*, fehlt dieser Kontrast und dies wird daher schwer verstanden. Verletzungen des Sonoritätsprinzips (wie etwa bei *Fuchs*) werden besser verstanden, weil sie einen auffälligen, unverkennbaren Verlauf von Änderungen aufweisen.

6.3.5 Semantische Aspekte

Zur Untersuchung des Einflusses der Semantik auf die Wortverständlichkeit wurden die in dieser Arbeit verwendeten Wörter den Gruppen „Nomen“, „Verben“, „Adjektive“ und „Zahlen“ zugeteilt. Die Adjektive schnitten am schlechtesten ab, was den Anteil korrekter Antworten betrifft. Am besten wurden die Zahlen verstanden, gefolgt von Nomen und an dritter Stelle die Verben. Die Normalhörenden zeigten nur einen marginalen Unterschied zwischen den ersten drei Rängen, die Adjektive lagen signifikant unter dem Anteil korrekter Antworten der drei anderen Gruppen. Die CI-Träger zeigten einen großen Unterschied zwischen den Verben und Nomen, der allerdings gerade nicht mehr signifikant war.

Diese Ergebnisse zeigen, dass semantische Aspekte für die Einzelwortverständlichkeit eine Rolle spielen. Jedoch kann das signifikante schlechtere Ergebnis der Adjektive nicht allein auf die semantischen Eigenschaften zurück geführt werden, da sich bei der Auswertung zeigte, dass die Probanden zwar zum Teil das Adjek-

tiv verstanden, aber die flektierte Form nicht richtig erkannten (z.B. *schön* statt *schöne*).

Andere Verwechslungen zeigten sich z.B. bei dem Wort *drei*, welches z.T. als *Teig* oder *Streik* verstanden wurde. Dies sind Fehler über die semantische Kategorie hinweg, die auf phonetischen Aspekten beruhen. Solche Fehler lässt der OLSA nicht zu, da es aufgrund der Satzbildung im Deutschen gewisse Vorgaben gibt, an welcher Stelle welche Wörter stehen können. *drei* mit *Streik* zu ersetzen ist in einem OLSA-Satz nicht möglich.

Die Normalhörenden zeigen kaum einen Unterschied zwischen den Verben und den Nomen. Für die CI-Träger hingegen zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Nomen und Verben, hier scheint das Mehr an Information, welche ein Verb trägt, eine größere Rolle zu spielen als bei den Normalhörenden und sich auf die Wortverständlichkeit auszuwirken. Obwohl man denken könnte, dass die schlechte Verständlichkeit der Verben daran liegen könnte, dass sie vielleicht zu einem Großteil aus Nasalen bestehen, wird dies beim Blick auf die Verteilung der Verben auf die Konsonantengruppen nicht bestätigt: Die gleiche Anzahl an Verben findet sich in der Nasalgruppe und auch in der Plosiv-Frikativ-Gruppe, also der schlechtesten und der am besten verstandenen Vokalgruppe.

Anzumerken ist, wenn der Anteil korrekter Antworten bei der Probandengruppe der Normalhörenden dem der CI-Träger angeglichen wird, z.B. wenn die vier oberen SNR-Bereiche weggelassen werden, dann ändern sich die Verhältnisse der korrekten Antworten zwischen den einzelnen Gruppen bei den Normalhörenden nicht.

Wortarten und die Konkurrenten eines Wortes innerhalb dieser Wortart haben einen Einfluss auf die Sprachverarbeitung: Strand et al. (2014) zeigten in einer Verständnisstudie, dass Wörter, die weniger Konkurrenten in der gleichen Wortart haben, besser erkannt werden als andere. Zudem nutzen ältere Probanden semantische Informationen zur Erkennung von Sprache besser als jüngere (Amano-Kusumoto und Hosom, 2011).

Dass die Wortart in Sätzen für die Erkennung von Silben entscheidend ist, konnte Davis (1967) zeigen. Sowohl die Reaktionszeit als auch die Erkennungsrate der Silben unterschieden sich je nach Wortart, in der die Silben eingebettet waren. So waren Adjektive und Adverben die Wortarten, die die geringste Erkennungsrate aufwiesen (Davis, 1967).

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass sehr viele Informationen über die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch bei CI-Trägern und Normalhörenden gewonnen werden können, wenn Wörter als Sprachstimuli ausgewählt werden. Natürlich gibt es auch einige Einschränkungen, die auch diskutiert wurden. Trotzdem ist es gut, mit Wörtern die Sprachverständlichkeit zu testen, da die Sprachverständlichkeit

auf Phonemebene keine zuverlässige Aussage für die Satzverständlichkeit bieten kann (Amano-Kusumoto und Hosom, 2011).

Einen Aspekt, der hier noch nicht betrachtet wurde, wird von Dos Santos Sequeira et al. (2008) näher beleuchtet: Dos Santos Sequeira et al. (2008) vermuten eine unterschiedliche Beteiligung der Hemisphären in Abhängigkeit des verwendeten Störgeräuschs, so wird die rechte Hemisphäre stärker aktiviert bei Sprache im Störgeräusch als ohne. Zudem konnten sie auch einen Rechten-Ohr-Vorteil bei dichotischem Hören finden. Denn bei fast allen Rechtshändern ist die sprachdominante Hemisphäre die linke (Lutz, 2004, S. 20). Obwohl diese Funde eine wichtige Erkenntnis darstellen, wurde in dieser Arbeit darauf keine Rücksicht genommen, da die Erfassung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch im klinischen Alltag auch monaural unabhängig von der Händigkeit eines Patienten durchgeführt wird. Sicherlich ist jedoch eine gut kontrollierte Studie mit CI-Trägern zu dieser Fragestellung für die weitere Erkenntnisgewinnung zur Sprachverständlichkeit wünschenswert. Hierfür würden dann zusätzliche EEG-/MEG- oder MRT-Daten benötigt, um ein umfassendes Bild der Sprachverarbeitung zu erhalten.

Es zeigt sich hier, dass es wohl eine enge Verknüpfung zwischen mehreren Faktoren gibt, die die Wortverständlichkeit beeinflussen: Sowohl semantische als auch phonetische Aspekte spielen eine Rolle für die Sprachverständlichkeit von Normalhörenden und CI-Trägern. Diese Erkenntnisse sind für das Experiment im folgenden Kapitel sehr wichtig, da es hierfür gilt, Unterschiede, die durch die Verständlichkeit zwischen den Wortgruppen bestehen, minimal zu halten.

Kapitel 7

Messung der Wortverständlichkeit in Fünf-Wort-Listen

In diesem Kapitel wird die Wortverständlichkeit in Fünf-Wort-Listen im Störgeräusch und in Ruhe ermittelt.¹ Jedes Wort wird an seiner individuellen L_{60} -Schwelle abgespielt. Ausgewertet werden die Ergebnisse analog zu den Ergebnissen des vorangegangenen Kapitels und hinsichtlich der relativen Wortverständlichkeit an den verschiedenen Positionen der Liste.

7.1 Motivation

Die Ergebnisse der Kapitel 5 und 6 deuten daraufhin, dass es Unterschiede bei der richtigen Wiedergabe von Wörtern gibt, je nachdem, an welcher Position die Wörter stehen und welche semantischen und phonetischen Eigenschaften die Wörter besitzen.

Sätze eines Satzverständlichkeitstests sind typischerweise aus Wörtern unterschiedlicher Wortarten gebildet. Es soll beantwortet werden, welchen Einfluss die Wortart bzw. die Semantik auf die Wiedergabeleistung im Störgeräusch, in diesem Fall gemessen als Sprachverständlichkeit, von Probanden hat und wie diese dadurch das jeweilige Ergebnis eines Satzverständlichkeitstests mitbestimmen. Satzverständlichkeitstests, wie sie im klinischen Alltag angewendet werden, sind wie serielle Satz-Recall-Experimente aufgebaut, die zur Überprüfung des kurzfristigen Behaltens verbaler Information genutzt werden (vgl. Kap. 3.3). In Ruhe, d.h. ohne Störgeräusch, werden serielle Satz-Recall-Tests bei klinischen Störungsbildern (z.B. neurologischen Sprachstörungen) in der Diagnostik (vgl. LEMO de Bleser et al. (2004), Untertest Nachsprechen) oder bei Kindern und Zweitsprachlernern eingesetzt (Stoynezhka et al., 2010). Im Unterschied dazu wird bei Satzverständlich-

¹Teile dieser Daten werden in Keller et al. (2016) veröffentlicht.

keitstests Sprache zusammen mit einem Störgeräusch präsentiert und der Signal-Rausch-Abstand im Laufe des Tests variiert. Da sich diese klinischen Tests im Wesentlichen durch die Präsentation eines Störgeräusches unterscheiden, sollten bei Satzverständlichkeitstests, ebenso wie beim Listen- oder Satz-Recall ohne Störgeräusch, auch Positionseffekte beobachtet werden. Jedoch sollten diese Positionseffekte auch durch die Wortart beeinflusst werden, mit der die jeweilige Position besetzt ist, da unterschiedliche Wortarten auch unterschiedlich gut wiedergegeben werden (vgl. Kap. 5).

Um die Lücke zwischen Einzelwortverständlichkeitstests und Satzverständlichkeitstests zu schließen, wird ein Listenverständlichkeitstest durchgeführt. Dies hat den Vorteil, dass zwar ein semantischer Zusammenhang zwischen den Wörtern der Liste besteht, aber der syntaktische Zusammenhang fehlt. Das bedeutet, dass Wörter nicht aufgrund von Syntax erschlossen werden können. Bisher wurde noch nicht untersucht, welchen Einfluss die Wortart, die an der jeweiligen Position im Satz steht, auf die Behaltensleistung in Ruhe und im Störgeräusch hat.

7.2 Methode

7.2.1 Stimulusgenerierung

Die Wörter, für die bereits die psychometrische Funktion ermittelt wurde (Kap. 6), werden auch für das folgende Experiment verwendet. Für jedes Wort wurde der SNR bestimmt, bei dem das Wort mit 60% Wahrscheinlichkeit richtig verstanden wurde² (vgl. Kap. 6). Für die Listen wurden fünf Wörter aneinandergesetzt, die der gleichen Wortart und semantischen Gruppe angehören (z.B. Tiere, Berufe). Eine Liste wurde mit allen Wortarten eines OLSA-Satzes gebildet, jedoch ohne syntaktischen Zusammenhang (*sieht - Stefan - drei - Bilder - kleine*). Jedes Wort wurde bei seiner L_{60} -Schwelle innerhalb der Liste präsentiert und mit jeweils 5ms-Flanke ein- und wieder ausgeschaltet. Zwischen zwei Wörtern wurde eine Pause eingefügt. Die Länge dieser Pause wurde so angepasst, dass die sich dadurch ergebende Länge der Liste und damit auch die Sprechgeschwindigkeit an Angaben der Literatur orientierte und sich zudem natürlich anhörte (vgl. Tab. 7.1). Hierfür wurden in erster Linie die Zeitangaben für das Deutsche (Asleh und Best, 2005) und für den OLSA (Wagener et al., 1999a) und OlakS (Carroll, 2013b) in Betracht gezogen, wobei auch die Angaben der sich nicht auf das Deutsche beziehenden Literatur im gleichen Bereich liegen. Die Wörter einer Liste wurden permutiert, so dass jedes Wort an jeder Position genau einmal auftritt. Dadurch ergeben sich aus den 17

²Die Wörter „Nina“, „Dosen“ und „sieht“ wurden bei dem mittleren Verständlichkeitswert aller Wörter abgespielt, da die ermittelte Wortverständlichkeitsschwelle (vgl. Kap. 6) zu hoch war und diese Wörter sonst zu laut präsentiert worden wären.

Listen mit unterschiedlichen Wörtern durch die Permutation der Wörter 85 Listen (Listenzusammenstellung im Anhang unter C).

Das Rauschen war für die Listen aus OlakS-Wörtern das OlakS-Rauschen, für die OLSA-Listen das OLSA-Rauschen. Das Störgeräusch wurde mindestens 200 ms vor und 200 ms nach dem Ende der Liste präsentiert. Da die Ergebnisse bei der Probandengruppe der CI-Träger für die einzelnen Wörter darauf schließen lassen, dass die Einzelleistung der Probanden sehr stark divergiert und nicht für alle Wörter eine psychometrische Funktion bestimmt werden konnte, wurden den CI-Trägern die Listen in Ruhe ohne Störgeräusch präsentiert.

Tabelle 7.1: Übersicht über Angaben zur Sprechgeschwindigkeit in der Literatur. Für die Erstellung der Listen fand die Orientierung an den Angaben für das Deutsche, an den Angaben zu den OLSA-Sätzen, den Angaben zu den OlakS-Sätzen und dem Lesen von Listen statt.

Sprechgeschwindigkeit	Angabe für	Quelle
243± 24 Silben/min	Vorlesen von Verb-Zweit-Sätzen	Carroll (2013b)
normal: 250 Silben/min, schnell: 295 Silben/min	Freie Rede (im Radio) im Deutschen	Schelten-Cornish (2007)
5 Silben/s = 300 Silben/min	langsames Lesen in Bangla	Acharya und Das Mandal (2012)
6.5 Silben / s = 390 Silben/min	normales Lesen in Bangla	Acharya und Das Mandal (2012)
7.5 Silben / s = 450 Silben/min	schnelles Lesen in Bangla	Acharya und Das Mandal (2012)
233 Silben / min	Vorlesen von OLSA-Sätzen	Wagener et al. (1999a)
66,4ms - 59,6 ms	Spannweite der Phonemdauer im Englischen	Quinn und Umeda (1977)
Silbenlänge in Abhängigkeit von der Wortlänge im Deutschen		
257,38 ms (1-Silber)	Lesen eines Textes	Asleh und Best (2005)
214,26 ms (2-Silber)		
255,97 ms (1-Silber)	freie Rede	Asleh und Best (2005)
208,34 ms(2-Silber)		
388,51ms (1-Silber)	Lesen von Listen	Asleh und Best (2005)
288,87ms (2-Silber)		

7.2.2 Durchführung

Die Probanden sollten die fünf Wörter einer Liste in der präsentierten Reihenfolge wiedergeben. Sie wurden schriftlich über den Ablauf der Messung informiert.

Die Messung fand in einer Sitzung mit einer kurzen Pause nach der Hälfte der präsentierten Listen statt. Jede Liste wurde insgesamt viermal bei 63 dB, analog zu Kapitel 6 präsentiert. Die Schalle wurden diotisch über Kopfhörer bei den Normalhörenden und monotisch über Audiokabel bei den CI-Trägern präsentiert (Messaufbau vgl. Abb. 6.1). Neun Normalhörende und neun CI-Träger nahmen teil (Anhang A.1 und A.2). Sie absolvierten auch die Experimente zur Wortverständlichkeit (Kap. 6). Die Probanden konnten selbstständig durch Tastendruck den Zeitpunkt des Abspielens der nächsten Liste bestimmen. Die Antworten der Probanden wurden aufgezeichnet und anschließend ausgewertet.

7.2.3 Datenanalyse

Die Auswertung erfolgte im Nachhinein durch Beurteilen der mündlichen Aussagen der Probanden.³ Für die Analyse wurden analog wie im Experiment zur Bestimmung der Wortverständlichkeit die Anteile korrekter Antworten bestimmt. Sowohl der Anteil richtiger Antworten für Wörter unabhängig von der Position, als auch der Anteil richtiger Antworten für Wörter, die an der richtigen Position wiedergegeben wurden, wurden ermittelt. Um einen Primär- und / oder Rezenz-Effekt feststellen zu können, wurden die mittleren Positionen zwei, drei und vier zu einer Position zusammengefasst und die Abstände von Position eins zu Position fünf ermittelt.

Ebenfalls wurden die Wörter analog zum Wortverständlichkeitsexperiment (Kap. 6) in die gleichen phonetischen und semantischen Gruppen unterteilt und der Anteil korrekter Antworten für diese ermittelt. Die Ergebnisse wurden mit dem Kruskal-Wallis Test, Post-hoc Analysen mit dem Mann-Whitney U Test und dem Wilcoxon Test auf statistische Signifikanz überprüft.

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Anteil korrekter Gesamtantworten

Die Ergebnisse für die Anteile korrekter Antworten für jedes Wort sind Abbildung 7.1 und Tabelle 7.2 zu entnehmen. Hier sind sowohl die Ergebnisse für den Anteil korrekter Antworten der Wörter an der richtigen Position und der Anteil korrekt wiedergegebener Wörter unabhängig von der Position zu sehen. Da jedes Wort in 60% der Fälle verstanden werden sollte, liegen die Ergebnisse für die Wörter, die ohne Beachtung der Position richtig wiedergegeben wurden, mit dem Median von

³„zieht“ für „sieht“ wurde als richtig gewertet, da sich bereits in Kapitel 6 gezeigt hatte, dass der Zuschnitt des Wortes zu dieser Verwechslung führte.

0,49 leicht unter der Erwartung. Die Ergebnisse für die an der richtigen Position wiedergegebenen Wörter zeigen an, dass im Mittel 3 Wörter richtig verstanden wurden, sie stimmen mit der Wahrscheinlichkeit für drei richtig verstandene Wörter überein, diese liegt bei $\binom{5}{3} \cdot 0,6^3 \cdot (1 - 0,6)^2 = 0,35$. Die Ergebnisse der Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger unterscheiden sich nicht signifikant für den Anteil korrekter Antworten richtig wiedergegebener Wörter ($U(9,9) = 40, p = 1,0$) und für den Anteil korrekter Antworten an der richtigen Position ($U(9,9) = 40, p = 1,0$, vgl. Abb. 7.1⁴, Tab. 7.2).

Die Anteile korrekter Antworten, getrennt für OLSA und OlakS-Wörter, sind Abbildung 7.2 und Tabelle 7.2 zu entnehmen. Die Anteile korrekter Antworten der richtig wiedergegebenen Wörter der Probandengruppe der Normalhörenden für die Wörter aus dem OLSA unterscheiden sich nicht signifikant von denen der Wörter aus dem OlakS ($U(9,9) = 31, p = 0,43$). Auch die Anteile korrekter Antworten der CI-Träger für die Wörter aus dem OLSA und OlakS unterscheiden sich nicht signifikant ($U(9,9) = 40, p = 1,0$). Die Anteile korrekter Antworten für die richtig wiedergegebene Position der Probandengruppe der Normalhörenden für die Wörter aus dem OLSA und für die Wörter aus dem OlakS unterscheiden sich nicht signifikant ($U(9,9) = 30, p = 0,38$). Dies gilt auch für die Probandengruppe der CI-Träger ($U(9,9) = 36, p = 0,72$). Die Ergebnisse der Normalhörenden und der CI-Träger sind Abbildung 7.2 und der Tabelle 7.2 zu entnehmen.

Tabelle 7.2: Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile richtiger Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Jeweils aufgelistet sind die Ergebnisse für richtig wiedergegebene Wörter unabhängig von der Position (Wort richtig) und an der richtigen Position wiedergegebene Wörter für alle Wörter zusammen. Ebenfalls aufgelistet sind die Ergebnisse für die OLSA- und OlakS-Wörter.

	NH			CI		
	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$
Wort richtig	0,37	0,49	0,68	0,22	0,54	0,73
Position richtig	0,3	0,38	0,47	0,2	0,35	0,63
OLSA Wort richtig	0,32	0,53	0,69	0,28	0,49	0,87
OLSA Position richtig	0,25	0,35	0,47	0,25	0,33	0,75
OlakS Wort richtig	0,49	0,50	0,71	0,19	0,69	0,74
OlakS Position richtig	0,38	0,41	0,52	0,17	0,43	0,56

⁴In Abbildung 7.1 ist die Aufteilung nach Kodierungsstrategien noch abgebildet, aufgrund der bereits genannten Gründe wird keine inferenzstatistische Untersuchung vorgenommen und auf eine weitere Unterscheidung in den darauf folgenden Betrachtungen verzichtet.

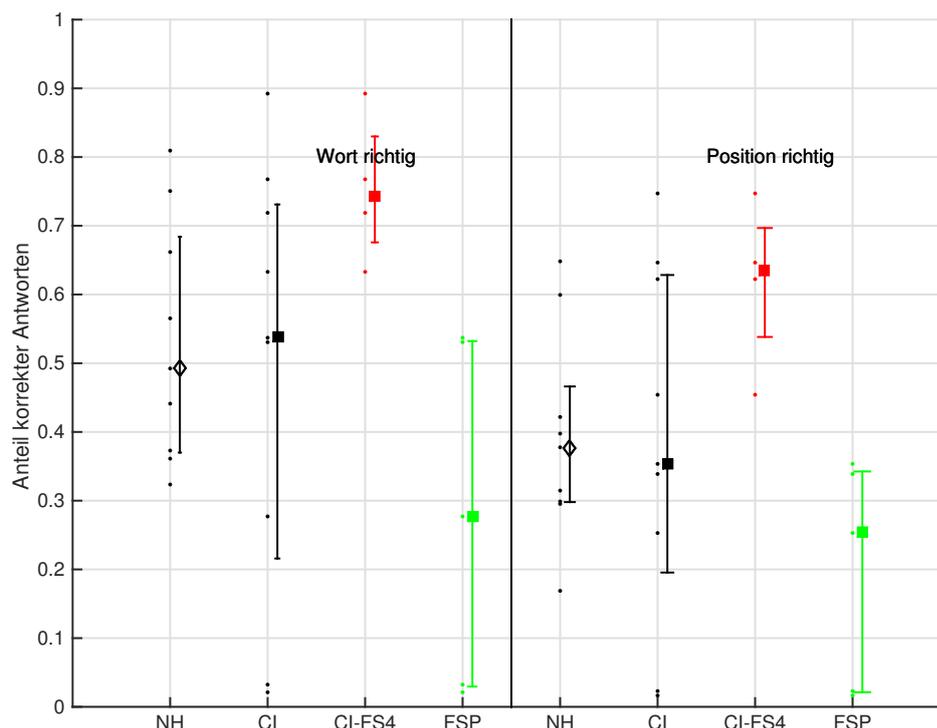


Abbildung 7.1: Anteil korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche. Die Ergebnisse der CI-Träger sind zudem unterteilt in die Probandengruppe mit den Kodierungsstrategien FS4 und FSP. Zu sehen ist sowohl die Auswertung, wenn ein Wort unabhängig von der wiedergegebenen Position richtig verstanden wurde (links), als auch, wenn das richtig verstandene Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde (rechts).

7.3.2 Rangfolge der einzelnen Wörter

Wie bereits in Kapitel 6 vorgenommen, wurden die Wörter ausgehend vom Anteil korrekter Antworten vom best erkannten Wort zum am schlechtesten erkannten Wort angeordnet (vgl. Abb. 7.3 und 7.4). Die Ergebnisse für die einzelnen Wörter zeigen ein unterschiedliches Ergebnis für die Probandengruppen: Die Anteile korrekter Antworten bei der Gruppe der Normalhörenden weist geringere Streuungen auf als die der CI-Träger. Dies ist sowohl bei der Auswertung nach richtig verstandenen Wörtern (vgl. Abb. 7.3) als auch bei der Auswertung nach an der richtigen Position wiedergegebenen Wörtern zu erkennen (vgl. Abb. 7.4). Es gibt mehr Wörter, die die Probandengruppe der CI-Träger im Mittel nie verstanden hat als die Normalhörenden. Bei ihnen ist es nur ein Wort, nämlich „Nina“.

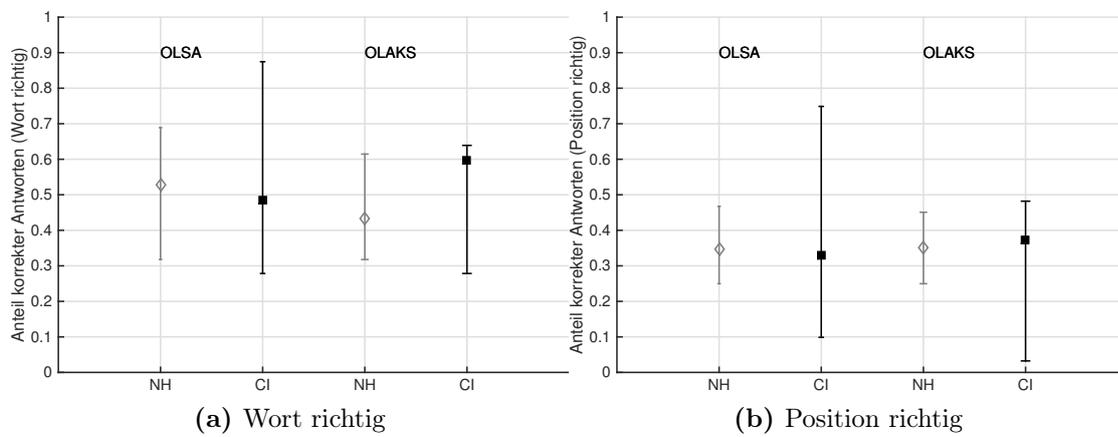


Abbildung 7.2: Anteil korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, getrennt nach Wörtern aus dem OLSA und dem OlakS. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche. (a) Das Wort wurde unabhängig von der wiedergegebenen Position richtig wiedergegeben, (b) das richtig verstandene Wort wurde an der richtigen Position wiedergegeben.

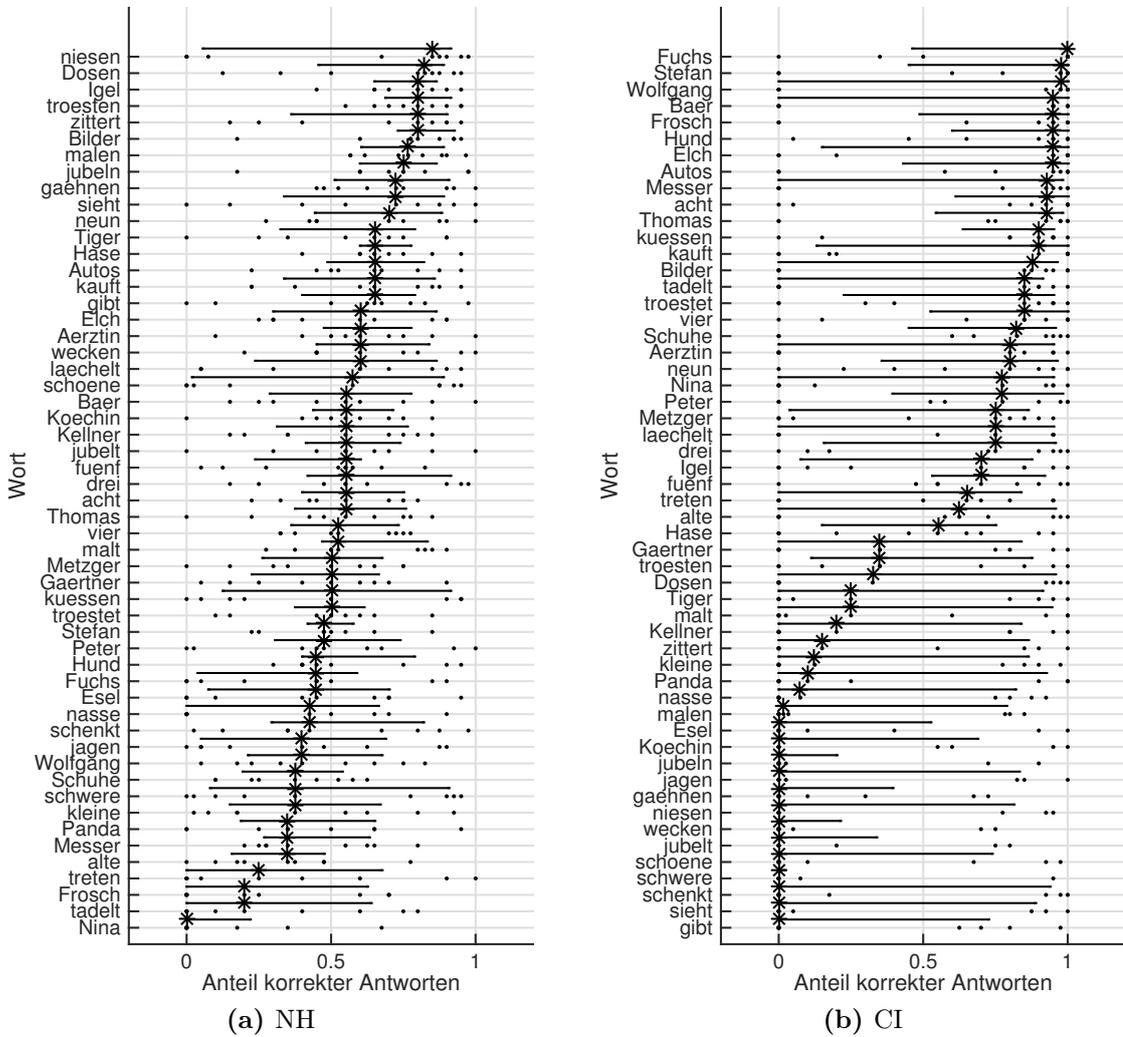


Abbildung 7.3: Anteil korrekter Antworten unabhängig von der Position für jedes Wort. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die Interquartilbereiche mit Median für jedes Wort für (a) die Probandengruppe der Normalhörenden, (b) die Probandengruppe der CI-Träger. Die Wörter wurden aufsteigend nach dem Anteil korrekter Antworten angeordnet.

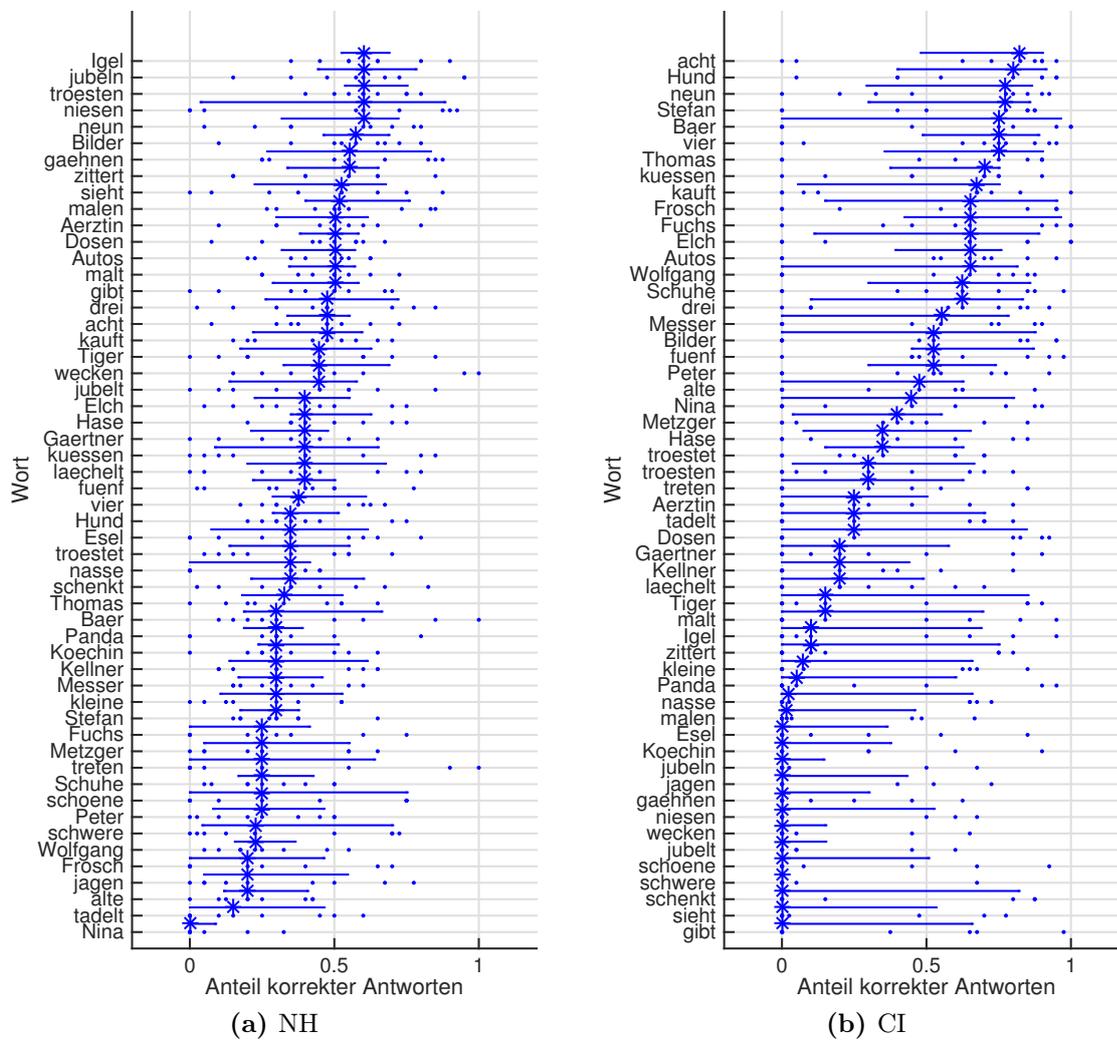


Abbildung 7.4: Anteil korrekter Antworten für jedes Wort, wenn es an der richtigen Position wiedergegeben wurde. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die Interquartilbereiche mit Median für jedes Wort für (a) die Probandengruppe der Normalhörenden, (b) die Probandengruppe der CI-Träger. Die Wörter wurden aufsteigend nach dem Anteil korrekter Antworten angeordnet.

7.3.3 Untersuchung des phonetischen Einflusses

Für die Auswertung im folgenden Abschnitt wurden die Wörter in Gruppen hinsichtlich phonetischer Aspekte unterteilt, analog zur Auswertung in Kapitel 6 (vgl. Anhang B). Dies waren zum einen die Silbenzahl pro Wort (Ein- und Zweisilber), die dominierende Konsonantengruppe (*Nasale, Frikative, Plosive, Plosiv/Frikativ*) und Gruppen nach dem Vokal der betonten Silbe. Die Ergebnisse für die Silbenanzahl, Konsonantengruppen und Vokalgruppen sind Abbildung 7.5 und 7.6 zu entnehmen.

Silbenanzahl: Die Unterschiede zwischen Ein- und Zweisilbern für die richtig wiedergegebenen Wörter sind nicht signifikant bei der Gruppe der Normalhörenden ($U(9,9) = 38, p = 0,86$) und bei der Gruppe der CI-Träger ($U(9,9) = 29, p = 0,33$) mit einem Mann-Whitney U Test (vgl. Abb. 7.5(a)). Die Unterschiede für die an der richtigen Position wiedergegebenen Wörter sind ebenfalls nicht signifikant bei der Gruppe der Normalhörenden ($U(9,9) = 39, p = 0,93$) und bei der Gruppe der CI-Träger ($U(9,9) = 26, p = 0,22$, vgl. Abb. 7.6(a)).

Konsonanten: Die Konsonantengruppen unterscheiden sich bei den Normalhörenden nicht signifikant für richtige Wörter ($H(3) = 1,1,26, p = 0,77$, vgl. Abb. 7.5(b)) und auch nicht signifikant für die an der richtigen Position wiedergegebenen Wörter ($H(3) = 1,589, p = 0,669$, vgl. Abb. 7.6(b))). Die Gruppen, die hinsichtlich dominierender Konsonanten eingeteilt wurden, unterscheiden sich nicht signifikant bei den CI-Trägern für die richtig wiedergegebenen Wörter ($H(3) = 2,4, p = 0,49$, vgl. Abb. 7.5(b)) und für die an der richtigen Position wiedergegebenen Wörter ($H(3) = 2,99, p = 0,39$, vgl. Abb. 7.6(b)).

Vokale: Unterschiede bei der Probandengruppe der Normalhörenden, die auf die Vokale zurückzuführen sind, sind nicht signifikant ($H(8) = 6,57, p = 0,58$, vgl. Abb. 7.5(c)), auch nicht für die an der richtigen Position wiedergegebenen Wörter ($H(8) = 7,34, p = 0,50$, vgl. Abb. 7.6(c)). Bei den CI-Trägern gab es keine signifikanten Unterschiede bei den Vokalen, wenn die Wörter richtig wiedergegeben wurden ($H(8) = 9,69, p = 0,29$, vgl. Abb. 7.5(c)). Die Anteile korrekter Antworten für die an der richtigen Position wiedergegebenen Wörter unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant ($H(8) = 8,84, p = 0,36$, vgl. Abb. 7.6(c)).

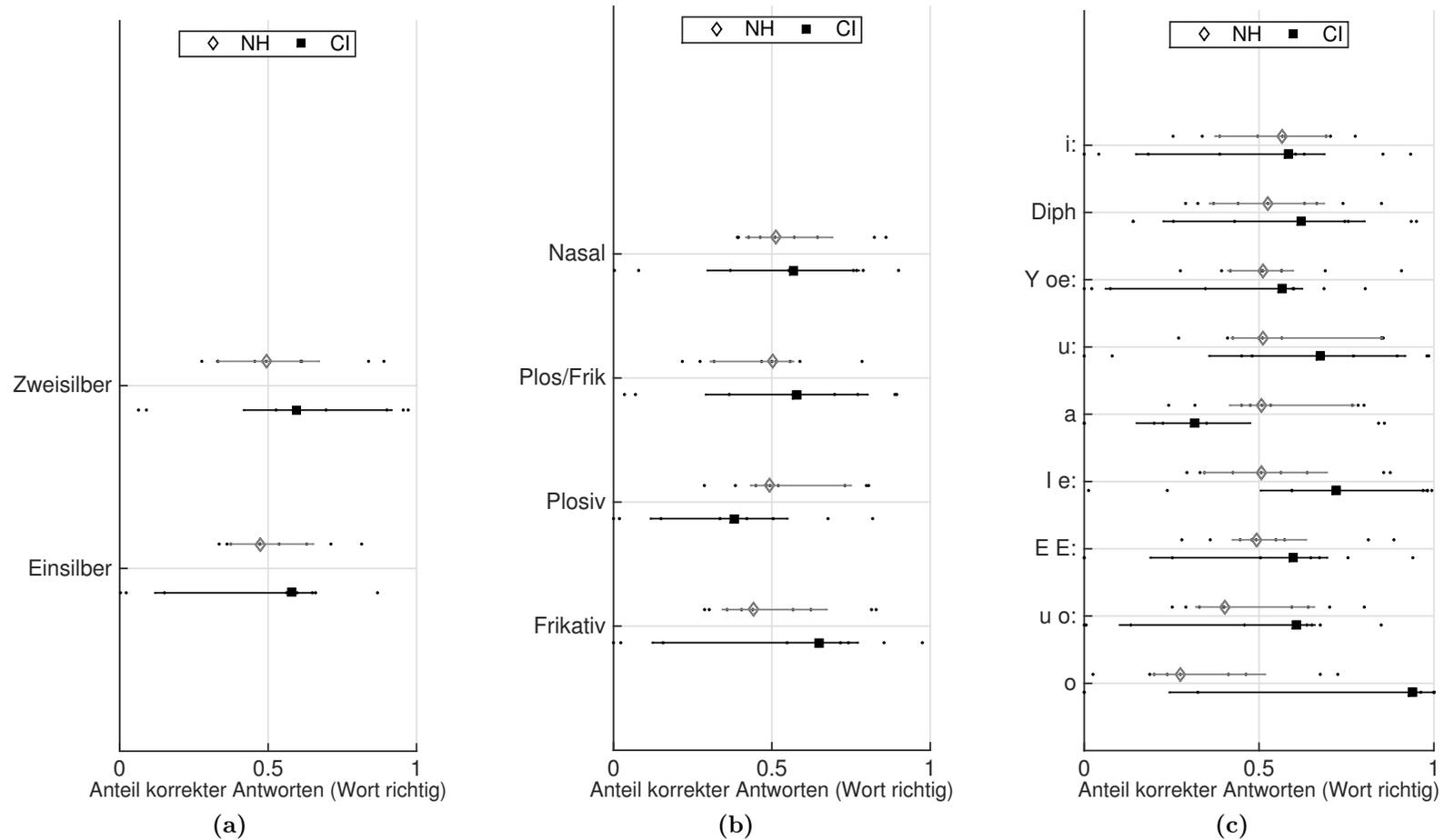


Abbildung 7.5: Anteil korrekter Antworten, aufgeteilt nach (a) Silbenanzahl, (b) dominierender Konsonantengruppe pro Wort und (c) Vokal der betonten Silbe. Gezeigt sind die Anteile korrekter Antworten für richtig wiedergegebene Wörter. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane für die Probandengruppe der Normalhörenden und die Probandengruppe der CI-Träger. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Probandengruppe der Normalhörenden. Die Untersuchung mit einem Kruskal-Wallis Test ergab keine signifikanten Unterschiede.

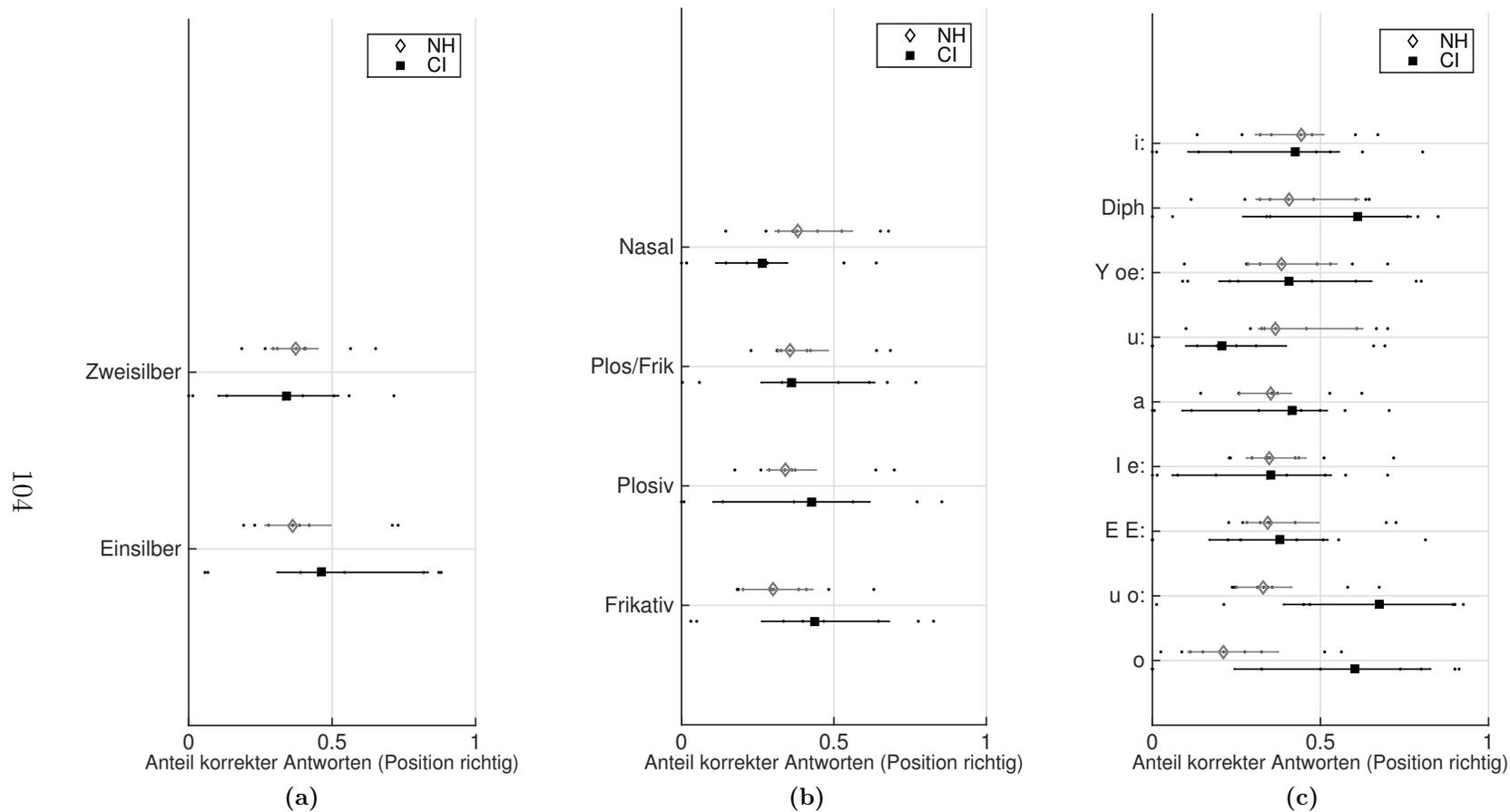


Abbildung 7.6: Anteil korrekter Antworten, aufgeteilt nach (a) Silbenanzahl, (b) dominierender Konsonantengruppe pro Wort und (c) Vokal der betonten Silbe. Gezeigt sind die Anteile korrekter Antworten für an der richtigen Position wiedergegebene Wörter. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane für die Probandengruppe der Normalhörenden und die Probandengruppe der CI-Träger. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Probandengruppe der Normalhörenden. Die Untersuchung mit einem Kruskal-Wallis Test ergab keine signifikanten Unterschiede.

7.3.4 Untersuchung des semantischen Einflusses

Zur Untersuchung der semantischen Merkmale wurden die Wörter analog zur Auswertung in Kapitel 6 in die Gruppen *Verben*, *Nomen*, *Adjektive* und *Zahlen* eingeteilt, die Ergebnisse sind Abbildung 7.7 zu entnehmen.

Die Unterschiede zwischen den Wörtern aufgrund der semantischen Unterschiede für die Normalhörenden sind nicht signifikant ($H(3) = 1,54$, $p = 0,67$) und auch nicht, wenn die Reihenfolge richtig wiedergegeben wurde ($H(3) = 3,63$, $p = 0,30$). Bei den CI-Trägern sind die Unterschiede für die richtig wiedergegebenen Wörter nicht signifikant ($H(3) = 5,10$, $p = 0,16$, Abb. 7.7(a)). Jedoch unterscheiden sie sich bei der richtigen Reihenfolge ($H(3) = 6,6$, $p = 0,08$, Abb. 7.7(b)) auf einem Signifikanzniveau von 10%: Ein Post-hoc Test ergab, dass der Unterschied zwischen Verben und Zahlen signifikant ist ($U(9,9) = 18$, $p = 0,052$).

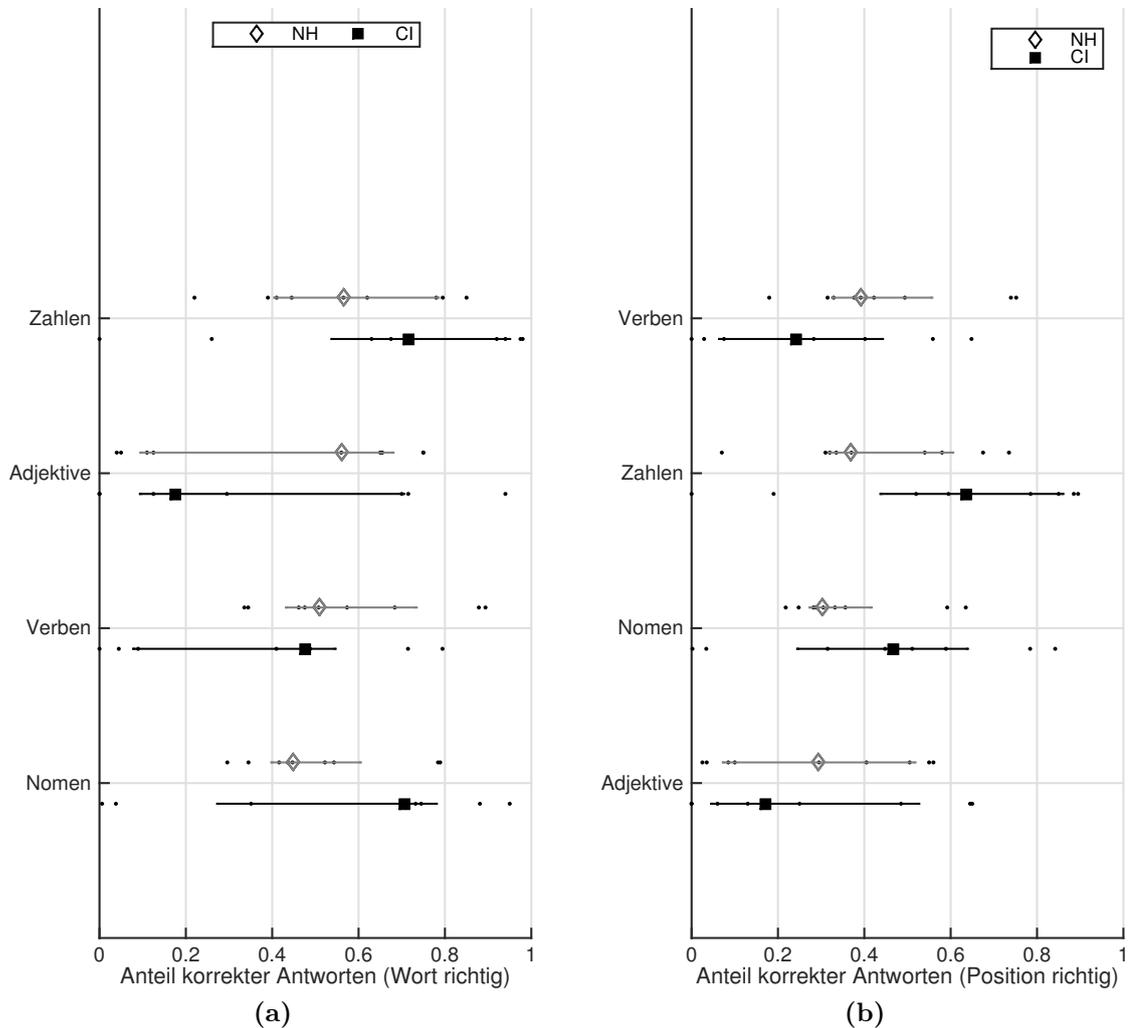


Abbildung 7.7: Anteil korrekter Antworten bei richtig verstandenem Wort (a) und bei an richtiger Position wiedergegebenem Wort (b), aufgeteilt nach den semantischen Gruppen. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane für die Probandengruppe der Normalhörenden und die Probandengruppe der CI-Träger. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Normalhörenden. Die Untersuchung mit einem Kruskal-Wallis Test und anschließendem Post-hoc Test Mann-Whitney U ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Zahlen und den Verben bei den CI-Trägern bei Wiedergabe an der richtigen Position.

7.3.5 Anteil korrekter Antworten pro Position

Nach der bereits vorangegangenen Betrachtung der Anteile korrekter Antworten unabhängig, an welcher Position die Wörter präsentiert wurden, werden nun die Anteile korrekter Antworten für jede der Positionen eins bis fünf behandelt. Betrachtet man die Anteile korrekter Antworten der richtig wiedergegebenen Wörter, dann sind diese für alle Positionen fast gleich (vgl. Abb. 7.8(a),(b)). Bei den Anteilen korrekter Antworten der an der richtigen Position wiedergegebenen Wörter ist jedoch ein Abfall von der ersten Position bis zur vorletzten hin zu erkennen. Der Anteil korrekter Antworten von vierter auf fünfte Position steigt wieder leicht an. Dies gilt sowohl für die Probandengruppe der Normalhörenden als auch für die der CI-Träger (vgl. Abb. 7.8(c),(d)).

Um den Einfluss der Lage der Kurve korrekter Antworten der einzelnen Probanden zu relativieren, wurden die Antworten auf die Position 1 normiert. Hierfür werden für jeden Probanden die Differenzen der Anteile korrekter Antworten der anderen Positionen zum Anteil korrekter Antworten von Position 1 gebildet. Weichen diese Differenzen von Null ab, so gibt es einen Unterschied zur ersten Position. Ist die Differenz negativ, so wurden die anderen Positionen weniger oft richtig wiedergegeben als die erste (vgl. Abb. 7.9).

Die Gruppe der Normalhörenden zeigt für die Differenzen unabhängig von der Position einen Abfall von zweiter bis fünfter Position im Vergleich zur ersten. Die Probandengruppe der CI-Träger hingegen zeigt für alle Positionen kaum einen Unterschied (vgl. Abb. 7.9(a),(b)). Bei den Differenzen für die Anteile an richtig wiedergegebenen Positionen zeigt sich auch hier ein Abfall von zweiter bis zur vierten Position und ein Anstieg für die fünfte Position für beide Probandengruppen (vgl. Abb.7.9(c),(d)). Die erste Position kann also häufiger an der richtigen Position wiedergegeben werden als die darauf folgenden Wörter.

Diese Ergebnisse für die Wörter an richtig wiedergegebenen Positionen zeigen zunächst einen Primär-Effekt, die erste Position wird häufiger richtig wiedergegeben als die anderen Positionen. Darauf wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

7.3.6 Primär- / Rezenz-Effekt

Um sowohl Primär- als auch Rezenzeffekt betrachten zu können, werden im Folgenden nun die mittleren Positionen 2,3, und 4 zu einer Position zusammengefasst (vgl. Abb. 7.10). Diese Methode zeigt auf einen Blick die Unterschiede von Position 1 und Position 5 zu den mittleren Positionen an und damit, ob es einen Primär- und / oder Rezenzeffekt gibt. Damit auch hier die Lage der Kurven für die einzelnen Probanden weniger stark ins Gewicht fällt, wird die Differenz von Position 1 zu der zusammengefassten Position (2,3,4) und von Position 5 zu Position (2,3,4) ermittelt (vgl. Abb. 7.11). Die Mediane und Interquartilbereiche für diese beiden

Differenzen sind in Abbildung 7.12 zu sehen, die deskriptiven Werte in Tabelle 7.3. Die Differenzen der Anteile korrekter Antworten für die richtig wiedergegebene

Tabelle 7.3: Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Angegeben ist die Differenz von Position 1 zu der zusammengefassten Position (2,3,4) und von Position 5 zu der zusammengefassten Position (2,3,4). * kennzeichnen signifikant von Null verschiedene Ergebnisse mit einem Wilcoxon Test.

	NH (N = 9)			CI (N = 9)				
	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$	$Q_{0,25}$	Median	$Q_{0,75}$		
Wort richtig (1-(2,3,4))	0,03	0,04	0,06	0,00	0,01	0,04		
Wort richtig (5-(2,3,4))	-0,06	-0,05	0,03	-0,02	0,00	0,03		
Position richtig (1-(2,3,4))	0,09	0,16	0,20	*	0,02	0,14	0,22	*
Position richtig (5-(2,3,4))	-0,11	-0,05	0,02		-0,05	0,02	0,06	

nen Wörter für die Gruppe der Normalhörenden für die Differenz von 1 zu (2,3,4) sind mit einem Wilcoxon-Test nicht signifikant von Null verschieden ($z = 1,84$, $p = 0,07$), und die Differenz von 5 zu (2,3,4) nicht signifikant unterschiedlich ($z = -1,72$, $p = 0,09$). Bei den CI-Trägern sind ebenfalls die Mediane der Unterschiede der Differenz von Position 1 zu (2,3,4) ($z = 1,48$, $p = 0,14$) und die Differenz von Position 5 zu (2,3,4) ($z = 0,91$, $p = 0,36$) nicht signifikant von Null verschieden.

Die Unterschiede bei den Wörtern, die an der richtigen Position wiedergegeben wurden, sind für die Probandengruppe der Normalhörenden für die Differenz von Position 1 zu (2,3,4) signifikant ($z = 2,67$, $p = 0,007$). Die Differenz von Position 5 zu (2,3,4) unterscheidet sich nicht signifikant ($z = -1,36$, $p = 0,17$).

Bei der Probandengruppe der CI-Träger unterscheiden sich die Differenz von Position 5 zu (2,3,4) nicht signifikant von Null ($z = 0,42$, $p = 0,68$), aber der Unterschied von Position 1 zu (2,3,4) ist signifikant ($z = 2,67$, $p = 0,007$).

Im Folgenden werden nun die Unterschiede zwischen den Differenzen 1-(2,3,4) und 5-(2,3,4) für die Listen mit unterschiedlicher Thematik untersucht (vgl. Abb. 7.13(a) und (b)). Wird eine Liste mit „Satz“ bezeichnet, bedeutet dies, dass alle Wörter eines Satzes in der Liste vorhanden waren, jedoch nicht grammatikalisch korrekt angeordnet wurden.

Bei der Probandengruppe der Normalhörenden finden sich für die richtig wiedergegebenen Wörter signifikant von Null verschiedene Ergebnisse für die Differenzen von 1 zu (2,3,4) für die Listen mit Objekten ($z = -2,2$, $p = 0,03$) und die Satzlisten ($z = 2,55$, $p = 0,01$, vgl. Abb. 7.13(a)). Ebenfalls signifikant von Null verschieden ist die Differenz von 5 zu (2,3,4) bei den Satzlisten ($z = -1,96$, $p = 0,05$). Bei den CI-Trägern unterscheidet sich die Differenz von 1 zu (2,3,4) bei den Listen der Namen ($z = 2,02$, $p = 0,04$) und Berufen ($z = 2,37$, $p = 0,02$, vgl. Abb. 7.13(a)). Die Differenz von 5 zu (2,3,4) sind bei den Listen der Zahlen signifikant von Null verschieden ($z = 2,03$, $p = 0,04$).

Die Differenz von Position 1 zu (2,3,4) der Anteile korrekter Antworten für Wörter an richtig wiedergegebener Position, sind bei den Normalhörenden signifikant von Null verschieden für die Listen der Verben ($z = 2,20, p = 0,03$), der Berufe ($z = 2,43, p = 0,02$), der Namen ($z = 2,55, p = 0,01$), der Zahlen ($z = 2,43, p = 0,02$) und den Satzlisten ($z = 2,67, p = 0,008$). Die Differenz von Position 5 zu Position (2,3,4) ist signifikant von Null verschieden für die Satzlisten ($z = -2,08, p = 0,04$) und die Listen der Namen ($z = -2,3, p = 0,02$, vgl. Abb. 7.13(a)). Die Differenzen der Anteile korrekter Antworten der CI-Träger für die Wörter an richtig wiedergegebener Position unterscheiden sich von Position 1 zu (2,3,4) bei den Satzlisten ($z = 2,38, p = 0,02$), den Listen der Zahlen ($z = 2,20, p = 0,03$), der Adjektive ($z = 2,20, p = 0,03$), der Namen ($z = 2,37, p = 0,02$), der Berufe ($z = 2,37, p = 0,02$), der Tiere ($z = 2,67, p = 0,007$) und der Verben ($z = 2,52, p = 0,01$) signifikant von Null. Die Differenz von 5 zu (2,3,4) ist signifikant von Null verschieden für die Listen der Zahlen ($z = 2,2, p = 0,03$, vgl. hierzu Abb. 7.13(b)).

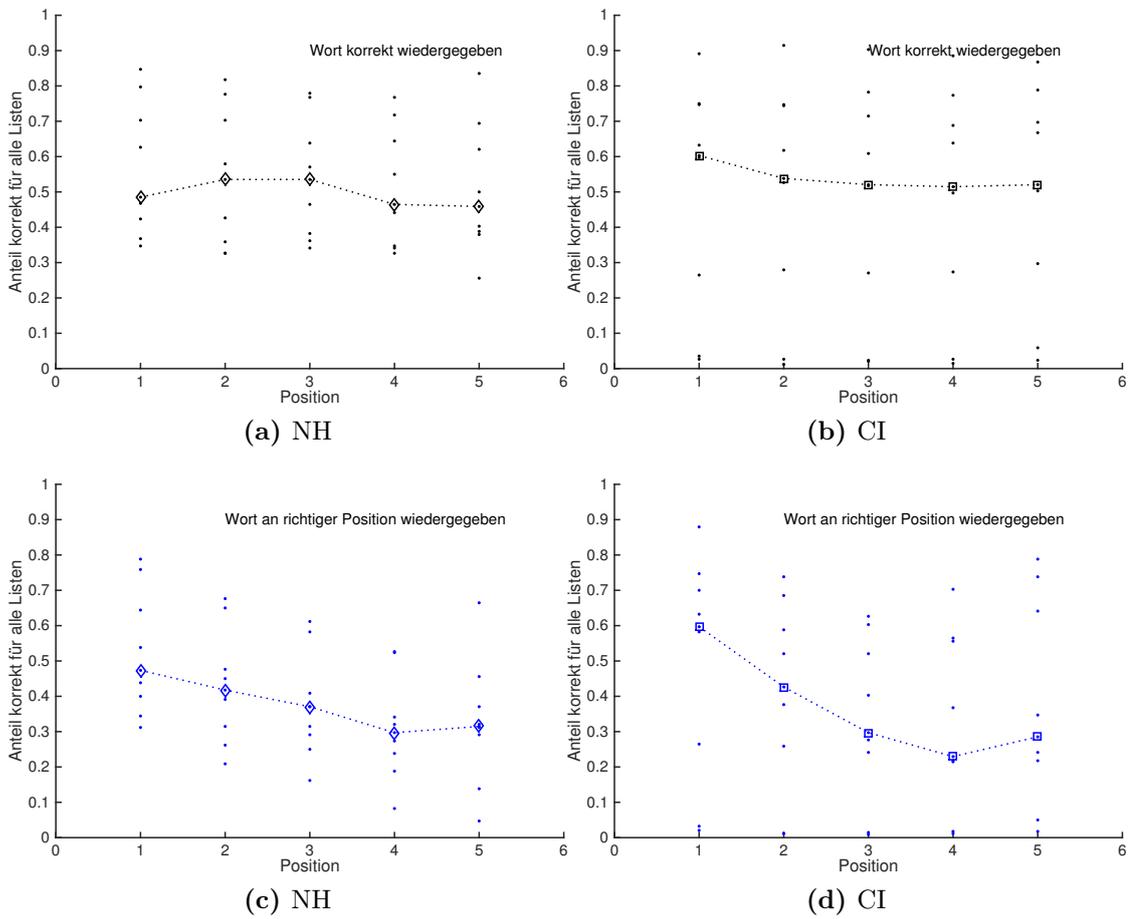


Abbildung 7.8: Anteil korrekter Antworten für Position 1-5 für die Probandengruppe der Normalhörenden ((a),(c)) und die Probandengruppe der CI-Träger ((b),(d)). Gezeigt sind die Ergebnisse für jeden Probanden und die daraus resultierenden Interquartilbereiche und Mediane. Zu sehen ist sowohl die Auswertung, wenn ein Wort unabhängig von der wiedergegebenen Position richtig verstanden wurde ((a),(b)), als auch, wenn das richtig verstandene Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde ((c),(d)).

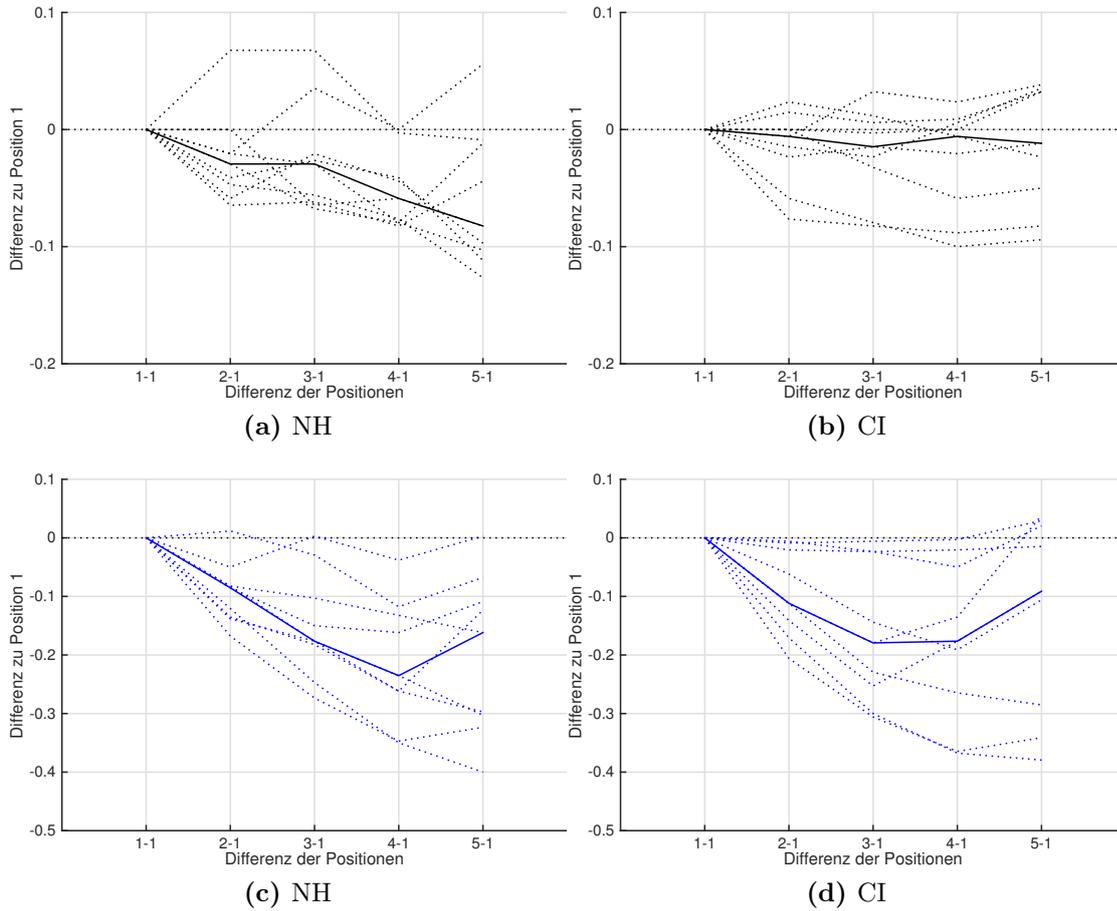


Abbildung 7.9: Die Differenzen der Anteile der korrekten Antworten für die Positionen 2,3,4 und 5 zu Position 1. Gezeigt sind sowohl die Ergebnisse für die einzelnen Probanden, als auch der Median (schwarz bzw. blau), jeweils getrennt für die Probandengruppe der Normalhörenden ((a),(c)) und der CI-Träger ((b),(d)). Dargestellt sind sowohl die Ergebnisse, wenn ein Wort richtig verstanden wurde ((a),(b)), als auch, wenn ein richtig verstandenes Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde ((c),(d)).

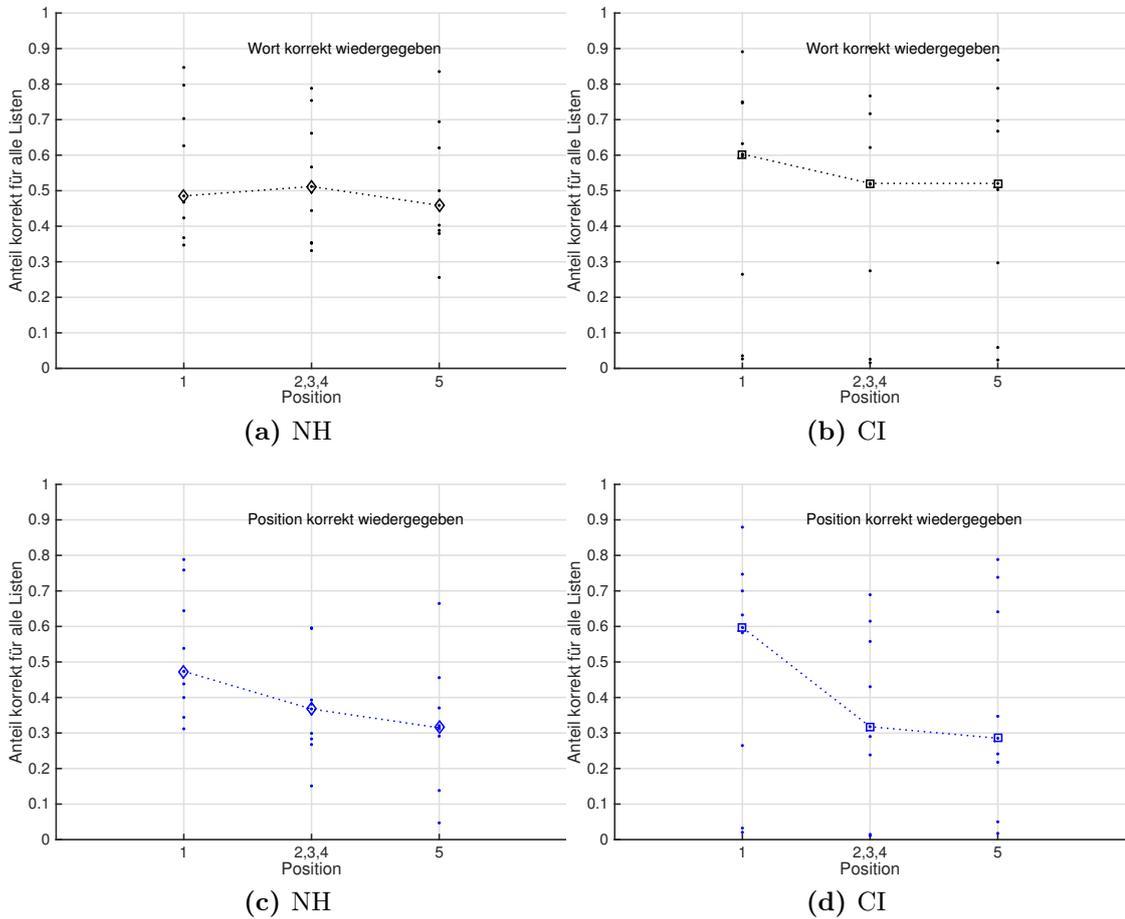


Abbildung 7.10: Anteil korrekter Antworten für Position 1, die zusammengefassten Positionen (2,3,4) und für Position 5. Gezeigt sind sowohl die Ergebnisse der einzelnen Probanden und der Median für die Probandengruppe der Normalhörenden ((a),(c)) und der CI-Träger ((b),(d)). Die Positionen 2,3 und 4 wurden zusammengefasst, um den Unterschied zwischen erster und letzter Position besser erkennen zu können. Dargestellt sind sowohl die Ergebnisse, wenn ein Wort richtig verstanden wurde ((a),(b)), als auch, wenn ein richtig verstandenes Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde ((c),(d)).

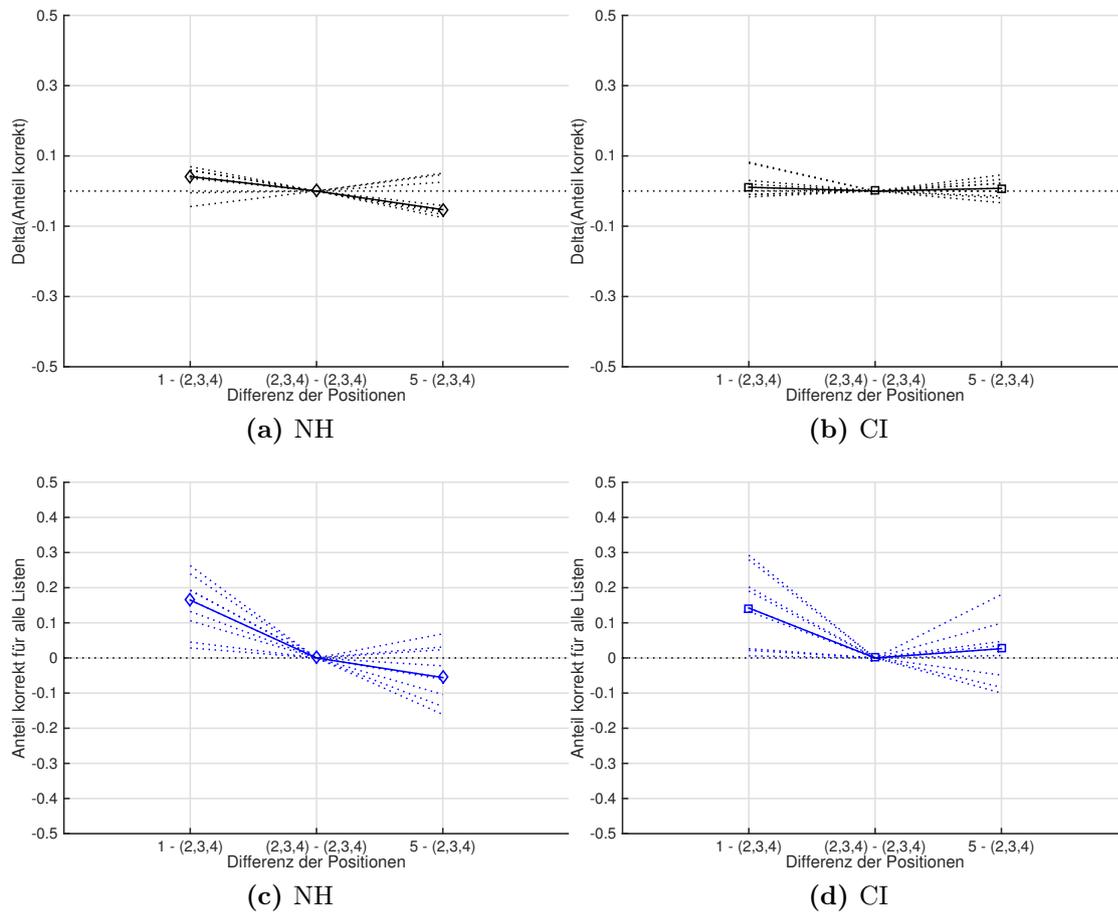


Abbildung 7.11: Die Differenzen der Anteile der korrekten Antworten für die zusammengefassten Positionen 2,3,4 zu Position 1, zu zusammengefassten Positionen 2,3,4 und zu Position 5. Gezeigt sind sowohl die Ergebnisse für die einzelnen Probanden (gestrichelt), als auch der Median (durchgezogen), jeweils getrennt für die Probandengruppe der Normalhörenden ((a),(c)) und der CI-Träger ((b),(d)). Dargestellt sind sowohl die Ergebnisse, wenn ein Wort richtig verstanden wurde ((a),(b)), als auch, wenn ein richtig verstandenes Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde ((c),(d)).

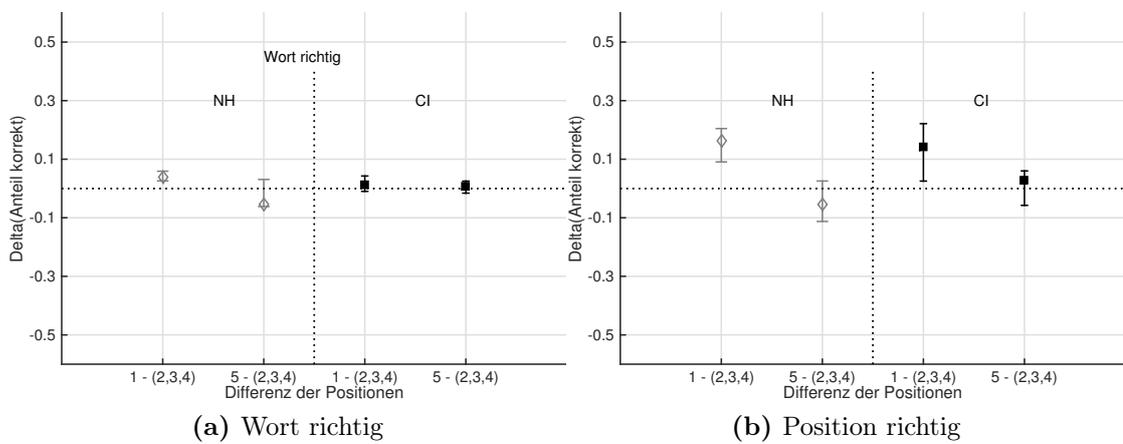


Abbildung 7.12: Mediane und Interquartilbereiche der Differenzen der Anteile korrekter Antworten für die Position 1 zu den zusammengefassten Positionen (2,3,4) und für die Position 5 zu den zusammengefassten Positionen (2,3,4). Dargestellt sind sowohl die Ergebnisse, wenn ein Wort richtig verstanden wurde (a), als auch, wenn ein richtig verstandenes Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde (b). Die Ergebnisse sind jeweils getrennt für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger aufgetragen.

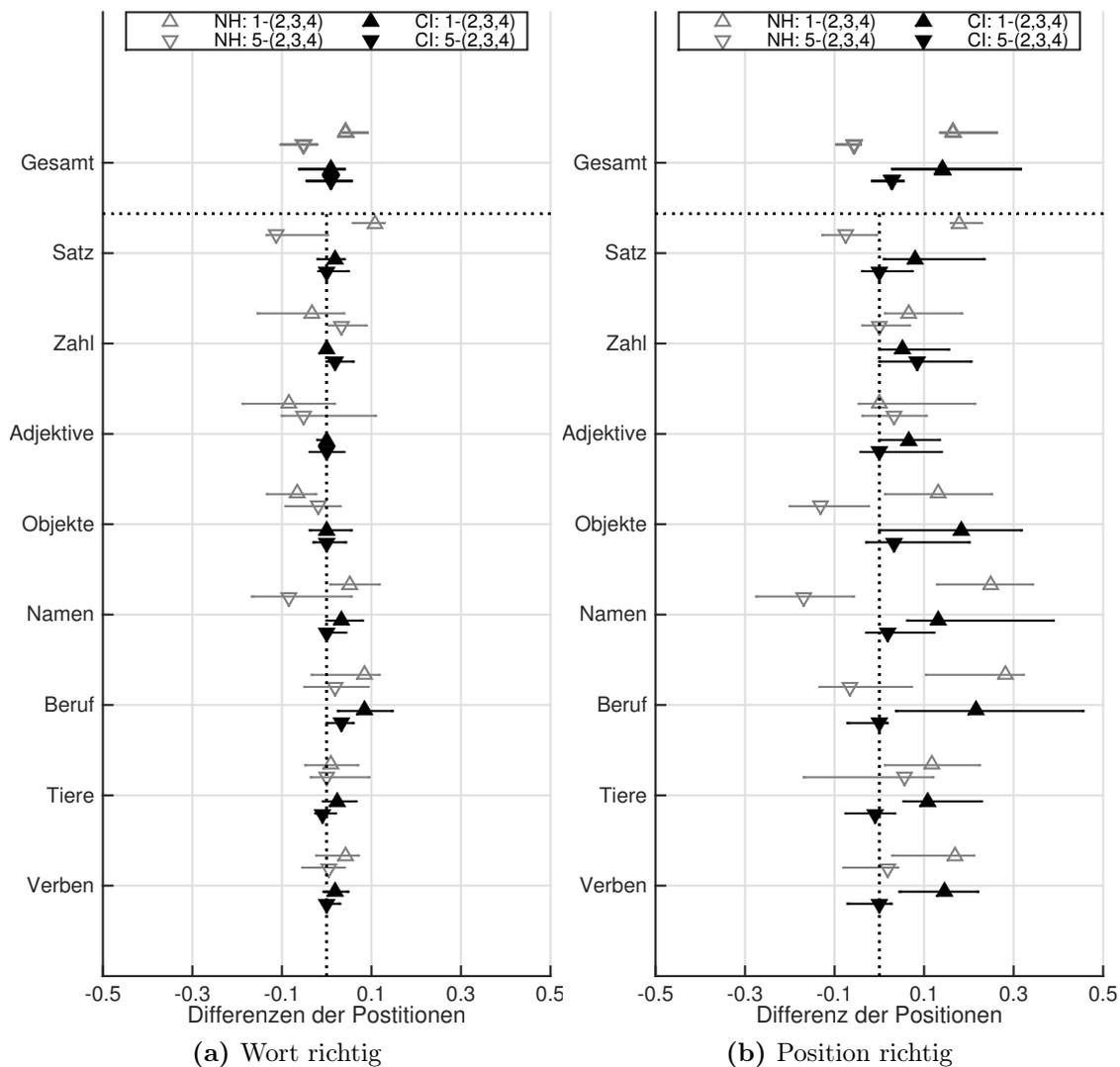


Abbildung 7.13: Mediane und Interquartilbereiche der Differenz von Position 1 zu den zusammengefassten Positionen (2,3,4) und der Differenz von Position 5 zu den zusammengefassten Positionen (2,3,4). Die Ergebnisse sind jeweils getrennt für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger aufgetragen, aufgeteilt nach semantischen Listen.

7.4 Diskussion

Die Auswertung des Experiments wurde auf zwei Arten durchgeführt. Zum einen wurde festgestellt, ob ein Wort richtig wiedergegeben wurde, unabhängig von der Position, an der es genannt wurde, zum anderen, ob es an der richtigen Position wiedergegeben wurde. Hier werden nun die verschiedenen Aspekte diskutiert.

Auswertungsmethode Wort vs. Position richtig: Vock (2004) zeigte, dass es eine Korrelation zwischen der Auswertungsmethode für richtig wiedergegebene Wörter und für Wörter an richtig wiedergegebener Position gibt (Vock, 2004, S. 132). Daher wird davon ausgegangen, dass beide Methoden für die in dieser Arbeit verwendete Aufgabenstellung genutzt werden können, um einen umfassenderen Überblick über die Daten zu erhalten. Da die Aufgabenstellung allerdings forderte, die Wörter in der richtigen Reihenfolge wiederzugeben, wird hauptsächlich auf die Ergebnisse dieser Auswertungsmethode eingegangen.

Einzelwortunterschiede, phonetische und semantische Unterschiede: Die Wörter wurden hinsichtlich phonetischer Aspekte in Gruppen eingeordnet. Obwohl für die CI-Träger das Experiment ohne Rauschen durchgeführt wurde, zeigen die Ergebnisse, dass das Experiment für die beiden Probandengruppen das gleiche Schwierigkeitsniveau hatte.

Die Normalhörenden zeigen keine Unterschiede bei der richtigen Wiedergabe hinsichtlich semantischer und phonetischer Eigenschaften. Dies liegt daran, dass die Wörter für dieses Experiment aufgrund der Erkenntnisse des vorangegangenen Experiments in ihrer Verständlichkeit angepasst wurden, so dass alle gleich gut verständlich sein sollten. Dadurch ist die Konstruktion der Listen sehr gut gelungen. Durch das Präsentieren in einer Liste mit semantischem Zusammenhang wird eine Struktur vorgegeben, an der sich der Proband orientieren kann, somit führt dies zu weniger wortartübergreifenden Verwechslungen.

Bei den CI-Trägern gibt es Unterschiede zwischen den Gruppen, aufgeteilt nach phonetischen und semantischen Eigenschaften. Die Verständlichkeitsprobleme der CI-Träger ohne Störgeräusch sind mit denen auf Einzelwortebene im Störgeräusch (vgl. Kap. 6) vergleichbar, obwohl Hällgren et al. (2005) eine größere kognitive Anstrengung im Störgeräusch als in Ruhe feststellen, um Sprache verstehen zu können (Hällgren et al., 2005). Bei dieser Aufgabe zeigt sich aber, dass die Leistung bei Präsentation in Ruhe bei CI-Trägern mit der im Störgeräusch von Normalhörenden vergleichbar ist. Mit zunehmender Anzahl an Wörtern, die zu verstehen sind, steigen die kognitiven Ressourcen, die nötig sind, um den Schall interpretieren zu können (Stenfelt und Rönnberg, 2009), was bei der hier untersuchten Aufgabe im Vergleich zum Einzelwortexperiment (vgl. Kap. 6) der Fall war.

Primär- und Rezenzeffekt: Um einen Primär- und Rezenzeffekt besser erkennen zu können, wurde wie bei Kjellberg und Ljung (2008) die Liste in drei Teile, nämlich Anfang, Mitte und Ende, unterteilt. Ein Primäreffekt konnte bei beiden Proban-

dengruppen festgestellt werden. Dieses Ergebnis entspricht auch den Befunden aus der Literatur: Bei visueller Präsentation von 6 Konsonanten zeigten Probanden ebenfalls einen Primäreffekt (Oberauer, 2003). Grundschulkindern machten die meisten Fehler beim unmittelbaren seriellen Recall von 7-9-Wort-Sätzen bei den mittleren und letzten Positionen (Alloway und Gathercole, 2005), so dass auch hier ein Primäreffekt gezeigt werden konnte.

Butterworth et al. (1990) führten ein dem in dieser Arbeit vergleichbares Experiment durch. Nomen aus dem gleichen semantischen Feld wurden in 4-, und 6-Wort-Listen präsentiert, ebenfalls wurden 4- und 6-Wort-Sätze dargeboten. Allerdings wurde hier die Antwortleistung für die gesamte Liste ausgewertet, die Antworten, getrennt für die Positionen wurden nicht gewertet und somit unterscheidet sich die verwendete Auswertungsmethode von der in dieser Arbeit genutzten: Die getestete gesunde Kontrollgruppe konnte die 4-Wort-Listen problemlos wiederholen, machte jedoch im Mittel bei einem Wort in den 6-Wort-Listen einen Fehler. Bei den Sätzen wurden mehr Fehler als bei den Listen gemacht. Beim Testen von 8-Wort-Sätzen, die semantisch nicht plausibel waren, konnten die Probanden 83% der Sätze korrekt wiedergeben (Butterworth et al., 1990).

Bei visuell präsentierten 5-Wort-Listen, bei denen die Wörter aus fünf verschiedenen Kategorien stammten, zeigte sich ein Primär- und ein Rezenz-Effekt für das erste und letzte Element der Liste (Jones und Oberauer, 2013). Der Rezenz-Effekt zeigte sich in den in dieser Arbeit gefundenen Ergebnissen bei der Betrachtung aller Antworten nicht bei den Normalhörenden und nur in geringem, nichtsignifikanten Maße bei den CI-Trägern. Dies ist zum einen der Aufgabe zu schulden, da bei den Normalhörenden durch die Präsentation des Störgeräuschs die tatsächliche Position sehr schwierig zu erkennen war. Zum anderen berichteten die CI-Träger, dass die Aufgabe sehr anstrengend und fordernd war. Besonders die Wiedergabe des letzten Teils der Liste (Rezenz) kann durch eine geringe Arbeitsgedächtniskapazität beeinträchtigt werden (Kjellberg und Ljung, 2008). Da bei den CI-Trägern der kognitive Aufwand sehr hoch ist, ist die freie Kapazität sehr niedrig und spiegelt daher die Ergebnisse von Kjellberg und Ljung (2008) wieder. Allerdings konnten die gerade genannten Autoren generell einen Rezenzeffekt im Sörgeräusch finden: Das Störgeräusch hatte einen minimierenden Effekt auf die Wiedergabe des Anfangs und des Endes der Listen, wobei der letzte Teil sehr viel besser richtig wiedergegeben wurde als der erste (Kjellberg und Ljung, 2008). Dies zeigt sich in der hier vorliegenden Arbeit nicht in diesem Maße, eingeschränkt ist das nur bei den CI-Trägern sichtbar.

Werden jedoch die Primär- und Rezenzeffekte bei den Listen mit unterschiedlichen Themen betrachtet, so findet sich ein differenziertes Bild. So findet sich ein Rezenzeffekt bei den CI-Trägern nur bei den Listen mit den Zahlen. Bei allen anderen Listen findet sich ein Primäreffekt. Dies spricht dafür, dass sich die CI-Träger bei

der Wiedergabe von Listen sehr stark auf die erste Position konzentrieren und die anderen Positionen zugunsten der ersten nicht richtig wiedergegeben werden können. Die Zahlen hingegen stellen eine Sonderrolle dar, da sie auch im Alltag sehr oft in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben werden müssen, etwa in Telefonnummern oder in Postleitzahlen. Dies bedeutet, dass eine solche Aufgabe schon im Alltag geübt wurde und alle Positionen in etwa gleich gut wiedergegeben werden können. Einen sehr viel größeren Unterschied gibt es bei den Listen mit Objekten, Namen und Berufen. Hier ist besonders die erste Position sehr viel öfter richtig wiedergegeben worden als bei den anderen Listen. Stehen Namen oder Objekte an erster Position in einem Satzverständlichkeitstest können diese also besonders gut wiedergegeben werden.

Die Listen der Namen und die Satzlisten zeigen bei den Normalhörenden einen starken Abfall bei der letzten Position, eine Art negativen Rezenzeffekt zugunsten der ersten Position, die sehr gut im Vergleich zu den mittleren Positionen wiedergegeben wird. Ansonsten zeigen die Listen mit den Zahlen, Berufen und der Verben einen Primäreffekt. Die beiden Probandengruppen unterscheiden sich also sehr. Auch Howard (1983) konnte einen Primäreffekt und einen sehr starken Rezenzeffekt bei Listen aus 30 Nomen beobachten (Howard, 1983, S. 97), wobei in diesem Fall die Silbenanzahl und Semantik nicht kontrolliert waren. Wird bei einer Reihe von Sätzen hintereinander die Wiedergabeleistung untersucht, so gibt es einen leichten Rezenz-Effekt für die letzten Sätze (Burkholder, 2005, S. 28).

Effekt des Alters: Da sich beide Probandengruppen in dieser Arbeit auch im Alter unterscheiden – die CI-Träger sind älter als die Normalhörenden – soll hier noch kurz auf den Effekt des Alters eingegangen werden. Die Gedächtnisleistung ist vom Alter beeinflusst und nimmt mit zunehmendem Alter ab (Surprenant, 2007). Das Vorhandensein eines Störgeräuschs stellt bereits eine kognitive Anstrengung dar (Carroll, 2013a) und zusätzlich wird das Sprachverstehen im Störgeräusch bei hörbeeinträchtigten Probanden durch die individuelle Arbeitsgedächtniskapazität beeinflusst (Rudner et al., 2011). Bei einer Hörstörung wird die Höranstrengung durch die Versorgung mit einem Hörgerät verringert, dies hat jedoch keinen Einfluss auf die kognitiven Fähigkeiten (Hällgren et al., 2005). Surprenant (2007) testete ältere und junge Probanden mit sechs Nonsense-Silben in einem kurzfristigen Behaltenstest bei unterschiedlichen SNRs. Unabhängig vom SNR konnten Primär-Effekte gefunden werden. In Abhängigkeit vom Alter sinkt die gesamte Wiedergabeleistung. Bei Listen, bestehend aus 11 einsilbigen Wörtern, wurde die Wiedergabeleistung von Probanden mit einer geringen Arbeitsgedächtniskapazität stärker durch den SNR beeinträchtigt als bei Probanden mit einer hohen Arbeitsgedächtniskapazität (Ljung et al., 2013). Diese Ergebnisse zeigen, dass sowohl Alter als auch Arbeitsgedächtniskapazität einen Einfluss auf die Hörfähigkeit im Störgeräusch haben können. Jedoch zeigt Akeroyd (2008) in einem zwanzig Studien

umfassenden Review zum Zusammenhang zwischen kognitiven Fähigkeiten und Sprachverständlichkeit im Störgeräusch, dass es wohl eine Verbindung zwischen diesen beiden gibt, dieser jedoch nicht eindeutig über alle Studien hinweg gezeigt wird. Das Bild ist nicht eindeutig, wobei die Untersuchungen, die die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses als kognitive Fähigkeit untersuchten, eher einen (allerdings nicht-signifikanten) Effekt finden konnten als diejenigen, die die Messung des IQs heranzogen (Akeroyd, 2008).

Im Gegensatz zu der Annahme, dass die kognitive Anstrengung bei reduziertem auditiven Input steigt, gehen Burkholder et al. (2005) in ihrer Vokoder-Studie aufgrund ihrer Ergebnisse davon aus, dass diese eher auf Misinterpretation von Items zustande kommt. Sie merken auch an, dass phonetische Unterschiede zu unterschiedlicher Gewichtung der Misinterpretation beim Testen der Zahlenspanne führen. Fehler, die auf die falsch wiedergegebene Reihenfolge zurückzuführen sind, steigen unter erschwerten Bedingungen nicht an (Burkholder et al., 2005). Kandoorp et al. (2016) hingegen konnten 59 % der Varianz der Sprachverständlichkeitsschwellen von Normalhörenden durch die Schnelligkeit im Zugriff auf lexikalisches Wissen erklären. So war der Wortschatz niedriger bei Personen, die einen Sprachverständlichkeitstest im Störgeräusch (als richtig gewertet wurde nur, wenn der komplette Satz verstanden wurde) nicht durchführen konnten (Kandoorp et al., 2016).

Kapitel 8

Messung der Wortverständlichkeit in Fünf-Wort-Sätzen in unterschiedlichen Störgeräuschen

Dieses Kapitel vergleicht Ergebnisse aus den Kapiteln 6 und 7. Nach einer kurzen Vorstellung der erhobenen Daten sollen diese mit den Ergebnissen der vorangegangenen Kapitel deskriptiv verglichen werden. Auf diese Art und Weise können die Ergebnisse der Verständlichkeit von Wörtern und von Wörtern in Listen und Sätzen miteinander verglichen werden.

8.1 Motivation

Um die Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel richtig einordnen zu können, werden diese nun mit Ergebnissen verglichen, die durch Präsentation der OLSA-Sätze bei gleichbleibendem Störgeräuschpegel, aber unterschiedlichem Störgeräusch, erhoben wurden. Dies hat den Vorteil, dass hier die Wortverständlichkeit in Sätzen und in Listen bei Verwendung der gleichen Methode miteinander verglichen werden können.

8.2 Methode

Mit der Konstanten Stimuli Methode (Kap. 2.2.1) wurden jeweils 10 Olsa-Sätze pro Proband bei Signal-Rausch-Abständen von -30 bis +5 dB SNR in 5 dB Ab-

ständen gemessen.¹ Das Störgeräusch der hier verwendeten Daten war zum einen das Fastl-Rauschen, ein männlicher und ein weiblicher Störsprecher. Im Folgenden werden die Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden bei -25 dB SNR betrachtet und bei 0 dB SNR für die Probandengruppe der CI-Träger. Die Antworten der drei Störgeräuschbedingungen werden für die Auswertung zusammengefasst, da bei den Ergebnissen zu den Untersuchungen in Kapitel 5 keine Unterschiede bei unterschiedlichen Störgeräuschen gefunden wurden. Es werden die Daten von sieben Normalhörenden und sechs CI-Trägern betrachtet (vgl. Anhang, Tab. A.1 und A.2). Analog zu den vorangegangenen Kapiteln werden die Antworten hinsichtlich semantischer und phonetischer Unterschiede betrachtet.

8.3 Ergebnisse

Für beide Probandengruppen wird der Anteil korrekter Antworten ermittelt (vgl. Abb. 8.1). Der Median des Anteils richtiger Antworten der CI-Träger ist größer als der der Normalhörenden. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant ($U(7,6) = 10$, $p = 0,13$). Unter der Annahme von gleichen Erkennungsraten können im Folgenden die Ergebnisse der beiden Probandengruppen miteinander verglichen werden, obwohl die Daten bei einem anderen SNR erhoben wurden.

Analog zu den Kapiteln 6 und 7 wurden die Wörter in Gruppen nach phonetischen und semantischen Gesichtspunkten unterteilt. Dabei ist zu beachten, dass in diese Auswertung alle 50 Wörter des OLSA eingeflossen sind (vgl. Einteilung im Anhang B), allerdings nicht alle Probanden die gleichen Sätze aufgrund des Studiendesigns gehört haben. Dadurch kann es z.B. sein, dass die Probanden unterschiedlich viele Wörter mit bestimmten Vokalen gehört haben.

¹Die Erhebung der Daten fand in Vorbereitung für die Datenerhebung für den Artikel Zirn et al. (2016) statt. Die Daten wurden von Daniel Polterauer erhoben, die Methode kann Zirn et al. (2016) entnommen werden.

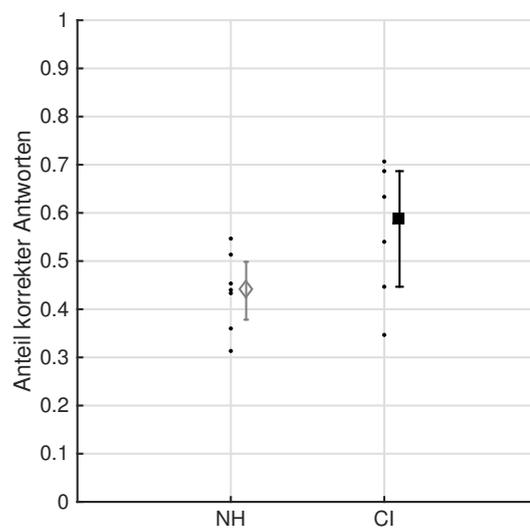


Abbildung 8.1: Anteil korrekter Antworten für die zehn in die Auswertung eingeflossenen Sätze. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden der Gruppe der Normalhörenden und der Gruppe der CI-Träger und die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche.

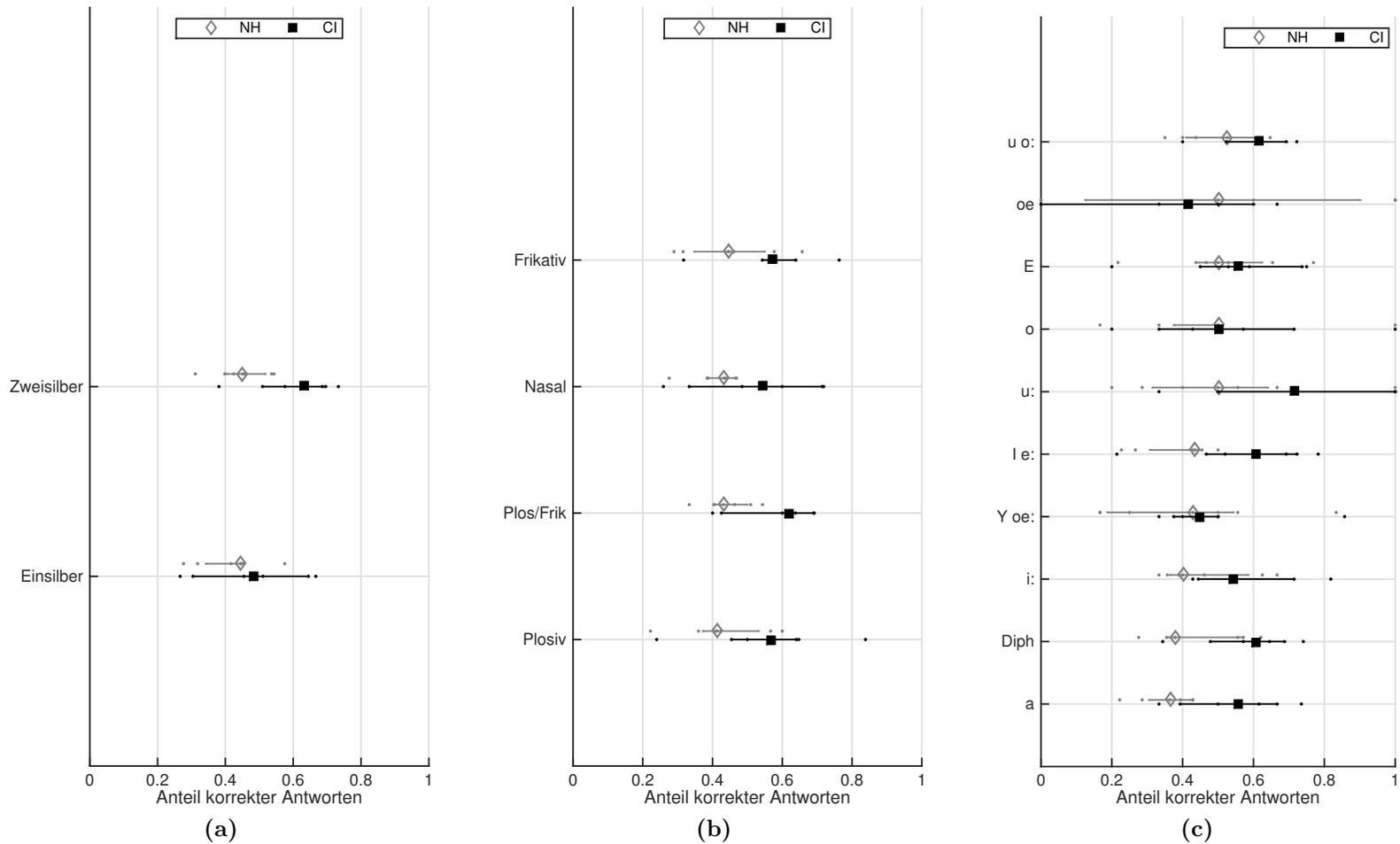


Abbildung 8.2: Anteil korrekter Antworten für die Wörter, aufgeteilt nach (a) Silbeanzahl, (b) dominierender Konsonantengruppe pro Wort, (c) Vokal der betonten Silbe. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Die Ergebnisse sind nach den Ergebnissen der Normalhörenden absteigend geordnet.

Die Unterschiede bei den phonetischen Gruppen sind für CI-Träger und Normalhörende sehr ähnlich und unterscheiden sich innerhalb der Probandengruppen nur geringfügig (vgl. Abb. 8.2). Zweisilber werden in beiden Probandengruppen etwas besser verstanden als Einsilber. Die Normalhörenden zeigen für die Gruppen, unterteilt nach Konsonanten nur sehr kleine Unterschiede in den Medianen, hinsichtlich der Anteile korrekter Antworten. Die CI-Träger verstehen die Plosiv-Frikativ-Gruppe am besten, jedoch sind die Unterschiede zu den anderen Konsonanten-Gruppen gering.

Die Vokale, die bei den CI-Trägern auffällig besser als bei den Normalhörenden sind, sind /I, e:/ und /a/ und /u:/. Der Anteil korrekter Antworten der anderen Vokale liegt in etwa gleich auf mit der Leistung der Normalhörenden.

Die Ergebnisse der Wörter, aufgeteilt nach semantischen Unterschieden, zeigen ein geringfügig besseres Abschneiden der CI-Träger in allen Bereichen als die Normalhörenden (vgl. Abb. 8.3). Dies ist der Tatsache zu schulden, dass diese auch etwas besser in der Gesamtbewertung abgeschnitten haben. Werden die Ergebnisse für die Probanden jeweils nach dem Anteil korrekter Antworten pro Position ausgewertet (vgl. Abb. 8.4(a)), so zeigt sich bei den Normalhörenden eine w-förmige Kurve. Die erste, mittlere und letzte Position werden besser verstanden als die anderen zwei Positionen. Bei den CI-Trägern gibt es einen klaren Anstieg der Anteile korrekter Antworten für die letzte Position, sie zeigen einen eindeutigen Rezenz-Effekt (Abb. 8.4(b)).

8.4 Diskussion

Bei moduliertem Störgeräusch und auch bei Sprache als Störgeräusch schneiden CI-Träger in der Regel nicht so gut ab wie die Normalhörenden, im Gegenteil zu diesen profitieren sie überhaupt nicht von den Lücken im Störgeräusch (Brown und Bacon, 2010). Dies zeigt sich auch in den hier vorgestellten Ergebnissen. Denn die Daten stammen von unterschiedlichen SNRs, d.h. bei gleichem SNR würden sich die Ergebnisse zu Ungunsten der CI-Träger stark unterscheiden.

Das hier erfolgte Zusammenfassen der verschiedenen Störgeräuschbedingungen ist gerechtfertigt, da Qin und Oxenham (2003) in einer Vokoderstudie keinen signifikanten Unterschied zwischen männlichem und weiblichen Störsprecher finden konnten bei einer Variation von 4-, 8- und 24-Kanälen. Die Bedingung des modulierten Rauschens schneidet zwar etwas schlechter ab, ist aber noch im Bereich von männlichem und weiblichem Störsprecher. Aus diesem Grund und da in Kapitel 5 kein Unterschied in der Positionserkennung zwischen den Bedingungen festgestellt werden konnte, kann man diese Bedingungen zusammenfassen. Stickney et al. (2004) zeigten keinen Unterschied zwischen männlichem und weiblichen Störsprecher bei einem männlichen Zielsprecher. Larsby et al. (2005) zeigen allerdings eine größere

Beeinträchtigung durch Alter und Hörstörung bei der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch mit zeitlichen Fluktuationen, d.h. dies kann die Ergebnisse auch beeinflussen.

Primär- und Rezenzeffekt: Die Normalhörenden zeigen hier eine w-förmige Kurve für den Anteil korrekter Antworten bei den einzelnen Positionen des Satzes. Die Ergebnisse wurden bei einem SNR gewonnen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen, die mit der adaptiven Methode ermittelt und in Kapitel 5 besprochen wurden. Auch hier zeigten die Normalhörenden eine w-förmige Wiedergabekurve. Die CI-Träger zeigen diese Form nicht, sondern einen Rezenz-Effekt. Dies ist insofern überraschend, da im vorangegangenen Kapitel kein Rezenz-, sondern ein Primäreffekt gefunden wurde. Im vorliegenden Kapitel wurde allerdings mit einem grammatikalisch korrekten Satz getestet und nicht mit Listen, bei denen die Wörter keine feste Position haben, die durch eine äußere Form, wie etwa der Syntax, bestimmt wurde. Dies scheint eine andere Auswirkung auf das Hören mit einem Implantat zu haben.

Phonetische und semantische Unterschiede: Große Unterschiede zwischen der Einteilung nach phonetischen Merkmalen sind in diesem Experiment nicht zu beobachten gewesen. Diese Befunde decken sich mit den Ergebnissen aus Kapitel 7 für die Normalhörenden, stehen aber im Kontrast zu den Ergebnissen in Kapitel 6, wo es signifikante Unterschiede bei der Betrachtung der Silbenanzahl, der Konsonanten und der Vokale gab. Diese geringen Unterschiede bei der Phonetik stehen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Wotton et al. (2006): Hier bezogen Probanden in hallenden Umgebungen, in denen ein Satz präsentiert wurde, den Kontext für die Wortbedeutung mit ein, so dass Unterschiede aufgrund der Phonetik keine größere Rolle für die Verständlichkeit spielen.

Semantische Unterschiede: Ähnlich wie bei der Phonetik sind auch bei der Einteilung nach semantischen Unterschieden keine großen Unterschiede zu beobachten.

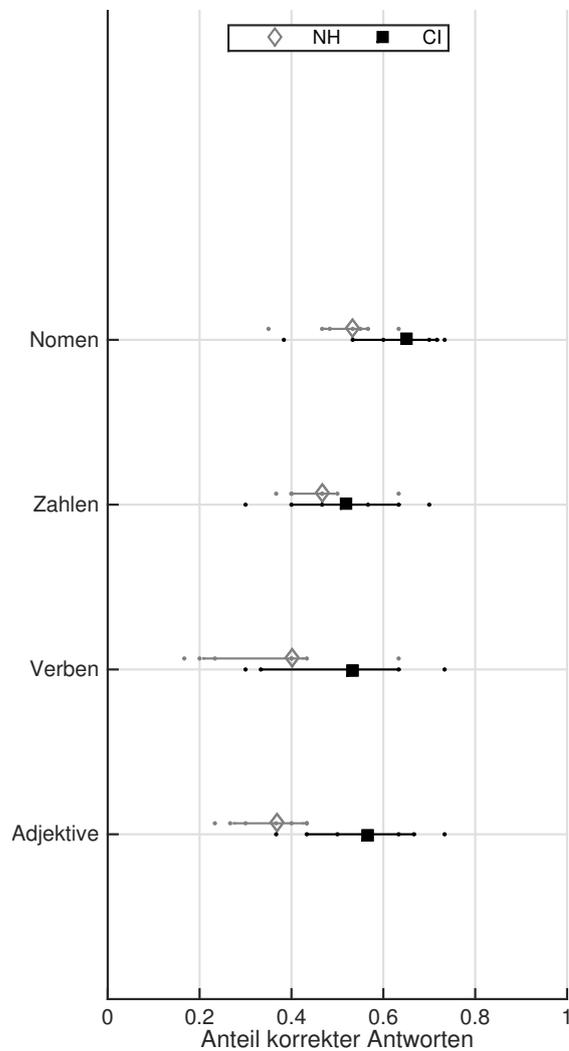


Abbildung 8.3: Anteil korrekter Antworten für die Wörter, aufgeteilt nach semantischen Unterschieden. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Die Ergebnisse sind nach den Ergebnissen der Normalhörenden absteigend geordnet.

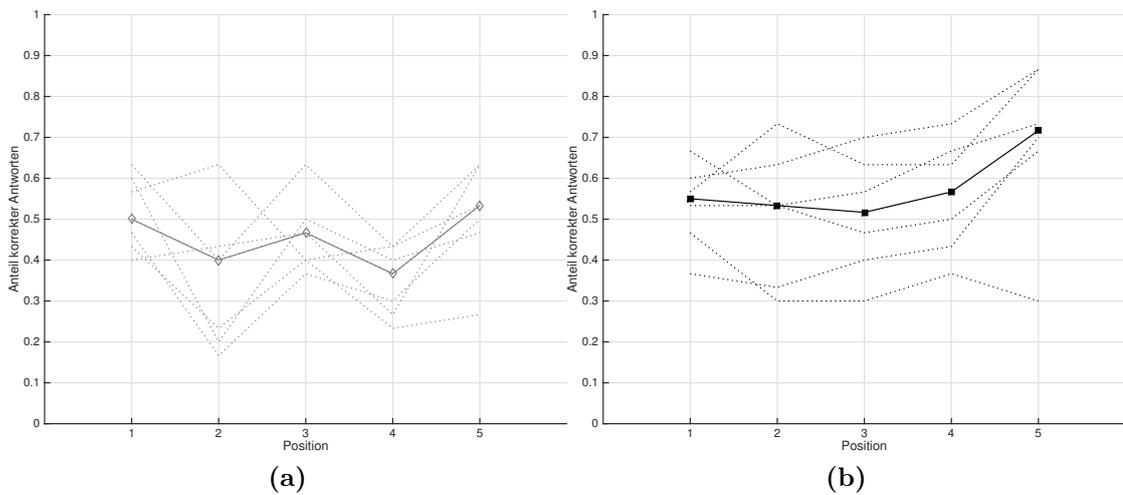


Abbildung 8.4: (a) Anteil korrekter Antworten der Probandengruppe der Normalhörenden. In die Auswertung einbezogen wurden jeweils die Messungen bei -25 dB SNR. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und der daraus resultierende Median. Dies waren jeweils 10 Sätze des OLSA-Materials mit unterschiedlichem Störgeräusch. Das Störgeräusch war zum einen das Fastl-Rauschen, zum anderen ein männlicher Störsprecher und ein weiblicher Störsprecher. (b) Anteil korrekter Antworten der Probandengruppe der CI-Träger für die Messungen bei 0 dB SNR. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und der daraus resultierende Median.

Kapitel 9

Diskussion der Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse aller hier in der Arbeit vorgestellten Sprachverständlichkeitstests, also auf Wort-, Satz-, und Listenebene besprochen und verglichen. Einen Zusammenhang zwischen Wortverständlichkeit und Satzverständlichkeit sahen Woods et al. (2015a) allerdings nur bei weniger komplexen Sätzen, wie sie z.B. in Satztests zu hören sind. Hier spielt die top-down Verarbeitung semantischer Informationen eine Rolle, die besser als die Konsonantenerkennungsrate nicht verstandene Teile kompensieren kann. Die Hörgeräteversorgung wirkt sich stärker positiv auf die Erkennungsrate von Wörtern aus als auf die Satzverständlichkeit (Woods et al., 2015a). Schwartz und Goldman (1974) untersuchten die Verständlichkeit von einsilbigen Nomen bei Kindern und konnten feststellen, dass Wörter, die in Sätze eingebettet waren, auch im Störgeräusch besser verstanden wurden als bei einer Entscheidungsaufgabe, ob zwei Wörter gleich oder ungleich sind. Andere Einflussfaktoren als die reine Diskriminationsfähigkeit spielten hier eine Rolle (Schwartz und Goldman, 1974). Woods et al. (2015b) zeigten, dass ein Training mit CVC-Silben im Störgeräusch die Erkennungsrate von Konsonanten in diesen Silben verbessern kann, allerdings war dieser Effekt nicht so stark bei unbekanntem Sprechern und Sätzen zu sehen. Die Autoren argumentieren mit den zusätzlichen semantischen Informationen, die gerade in einfachen Sätzen, wie es die Testsätze waren, der Verständlichkeit helfen und daher kein übertragbarer Erfolg des Trainings sichtbar war.

Eine Alternative wäre die Nutzung eines einheitlichen Satzes, in den Wörter bei einem Wortverständlichkeitstest eingebettet werden. Dies sieht Godfrey (1984) als kritisch, auch wenn damit ein minimaler Kontext geschaffen wird. Stattdessen präferiert er syntaktisch kontrollierte Sätze, um eine alltagsgetreue Situation abzubilden und ein recht genaues Bild von den Fähigkeiten der Probanden zu bekommen, die auch eine kommunikative Bedeutung haben. Der Informationsgehalt von den Anteilen an Sprache, an denen am meisten Veränderungen geschehen, sind in gleichem Maße für CI-verarbeitete und unverarbeitete Sprache wichtig für

die Sprachverständlichkeit und sollten daher auch für elektrisches Hören nutzbar gemacht werden (Stilp et al., 2013).

Laneau et al. (2006) bemängeln an Vokoder-Studien, dass man sie zwar als Richtschnur für das Hören mit einem CI nutzen kann und insbesondere auch Parameter einzeln untersucht werden können, allerdings nur ihrer Ansicht nach sehr limitiert als Modelle für CIs genutzt werden können. Obwohl hier monaural getestet wurde, soll kurz noch ein Ausblick auf die binaurale Sprachverständlichkeit geworfen werden: Kallel et al. (2013) nutzten 17 Wörter, bestehend aus drei Phonemen, zur Untersuchung der Sprachverständlichkeit. Bei Hinzufügen einer Frequenzverschiebung zwischen den übertragenen Signalen auf beiden Ohren, gab es einen Anstieg der Sprachverständlichkeit durch die Redundanz der Informationen. Yoon et al. (2013) wiederum fanden eine große Varianz in Ergebnissen bei Auftreten von spektralem Mismatch.

Holden et al. (2013) verglichen die Verständlichkeit von Wörtern, die kognitiven Fähigkeiten und die Vorgeschichte von CI-Trägern und bestimmten die Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit als ein komplexes Gebilde aus mehreren beeinflussenden Faktoren, die in unterschiedlicher Schwere die Verständlichkeit beeinträchtigen. Je weniger dieser negativen Faktoren bei einem CI-Träger vorhanden sind, umso positiver wirken sie auf die Sprachverständlichkeit (Holden et al., 2013). Engelkamp und Rummer (1999) finden eine unabhängige Beeinflussung von syntaktischer Komplexität und Wortlänge im Satzrecall. Effekte, die auf phonologische Ähnlichkeit und auf der Wortlänge basieren, finden sich nur im seriellen Recall (Engelkamp und Rummer, 1999).

Obwohl mit Hilfe dieser Analyse die Silbenanzahl und damit auch die Wortlänge außer Acht gelassen wurde, ergaben sich Gruppen, die eine gemeinsame phonetische Charakteristik haben. Svirsky et al. (2011) untersuchten die Sprachverständlichkeit mit Logatomen, die bereits durch einen Sprachprozessor eines CIs verarbeitet wurden. Modelle, die Formanten, Silent Gap Dimensionen mit abbildeten, konnten die Spracherkennung von CI-Trägern sehr gut modellieren, besser als wenn eines der beiden fehlte (Versfeld et al., 2000). In einer Äußerung konnten von einem Worterkennungsalgorithmus vor allem die letzten Wörter innerhalb einer Äußerung erkannt werden. Allerdings waren in der Stichprobe, die getestet wurde, sehr viele Fragesätze, die einen anderen Intonationsverlauf aufweisen als Aussagesätze (Schukat-Talamazzini, 1987, S. 101). Je länger ein Wort ist, umso sicherer konnte es unabhängig von der Wortart von dem Algorithmus erkannt werden (Schukat-Talamazzini, 1987, S. 100). So konnten kaum Unterschiede zwischen den Erkennungsraten unterschiedlicher Wortarten gefunden werden, einzig sehr viel schlechter schnitten die Funktionswörter (d.h. Partikel) ab (Schukat-Talamazzini, 1987, S. 99).

Schukat-Talamazzini (1987, S. 57) stellte für seinen Worterkennungsalgorithmus

Regeln für eine Lautverwechslungsmatrix auf. Diese beachten unter anderem die Ähnlichkeiten innerhalb einer Lautklasse und auch die Überschneidung von Ähnlichkeiten zwischen anderen Lautklassen (Schukat-Talamazzini, 1987, S. 58). Obwohl auch ganz neues Sprachmaterial generiert werden hätte können, wurde in dieser Arbeit mit Wortmaterial aus bereits vorhandenem Sprachmaterial gearbeitet. Dies hat den Vorteil, dass sowohl auf eine Männer- als auch Frauenstimme und bereits gut vorausgewähltes Material zurückgegriffen werden kann.

Kapitel 10

Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde aufgezeigt, welche Komponenten bei der Zusammenstellung von Sprachmaterial für einen Sprachverständlichkeitstest beachtet werden sollten und welche Möglichkeiten, aktuelle Daten über Sprache zu gewinnen, etwa mit Datenbanken, hierfür für das Deutsche zur Verfügung stehen. Am Beispiel eines bereits existierenden Satztests wurden Aktualisierungsmöglichkeiten des Materials aufgezeigt.

Wörter zweier Satztests wurden sorgfältig ausgewählt und ihre Verständlichkeit im Störgeräusch an Normalhörenden und CI-Trägern getestet. Die Verständlichkeitsränge der Wörter konnten in Zusammenhang mit ihrem mittleren Sonoritätsindex gebracht werden. Dieser relativ einfach zu ermittelnde phonologische Index kann in Zukunft helfen, Wörter für neues Testmaterial schon im Vorfeld einzuschätzen und abzuwägen, ob sich das Wort gut für Verständlichkeitstests eignen wird oder nicht und ob das Material insgesamt ausgewogen gewählt ist.

Mit dem ausgewählten Wortmaterial wurde ein neuer Test erstellt. Dieser schließt die Lücke zwischen Wort- und Satzverständlichkeitstests, indem mit Wörtern, die in einem semantischen, aber in keinen syntaktischen Zusammenhang stehen, in Listen getestet wurde. Bei Einzelwörtern wird die Struktur alleine durch die Phonetik vorgegeben, bei Sätzen sowohl durch Phonetik als auch Semantik als auch Syntax. Bei den hier verwendeten Listen besteht die Strukturvorgabe durch Phonetik und Semantik. Dieser Test wurde im Störgeräusch und in Ruhe in einer ersten Untersuchung mit Normalhörenden und CIs evaluiert. Die Ergebnisse wurden mit Ergebnissen von Satzverständlichkeitstests verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass die Wörter, losgelöst aus dem Satzkontext und in Listen präsentiert, für die Probanden andere Schwierigkeiten aufwiesen, als wenn sie in Sätzen präsentiert wurden. Im Gegensatz zu den Sätzen bieten die Listen den Vorteil, dass die Wörter nicht aufgrund ihrer Satzstellung erraten werden können. Sowohl auf Wortebene als auch auf Listenebene konnten neue Erkenntnisse gewonnen werden. Bevor Tests nach diesem Vorbild aber eingesetzt werden können, ist es erforder-

lich, in einem nächsten Schritt zu überprüfen, ob die testtheoretischen Grundlagen Validität, Objektivität und Reliabilität erfüllt sind. Des Weiteren müssen Normwerte für bestimmte Patientengruppen unterschiedlichen Alters ermittelt werden, um abschätzen zu können, wie einzelne getestete Personen im Vergleich zu einer geeigneten Normgruppe abschneiden.

Denkbar für eine zukünftige Entwicklung wäre es, den Test mit einer Software, die nach dem Vorbild von SciLab (Lai et al., 2003) entwickelt wird, weiter auszubauen und einen Einblick in die Lautverwechslungen zu bekommen, die während des Tests gemacht wurden.

Die vorliegende Arbeit hat die Wichtigkeit der Zusammenarbeit aller Disziplinen gezeigt, die sich mit Cochlea-Implantaten und Cochlea-Implantat-Trägern beschäftigen. Nur auf diese Weise können die Synergien genutzt werden, um sowohl auf technischer Seite als auch auf sprachlicher Seite immer auf dem neuesten Entwicklungsstand zu bleiben.

Lautsprachliche Kommunikation im Alltag erfolgt durch Integration aller Sinnesreize zu einem holistischen Gesamtbild der Umwelt. Die Überprüfung des Gewinns durch die Implantation eines Cochlea-Implantats kann allerdings nur allein durch den Ausschluss anderer, etwa visueller, Hinweisreize durchgeführt werden. Hierfür ist es erforderlich, auch die Tests, mit denen diese Überprüfung im klinischen Alltag durchgeführt wird, auf dem neuesten Stand zu halten, immer wieder mit dem Stand der Forschung abzugleichen und gegebenenfalls zu aktualisieren und zu erweitern. Dafür kann die vorliegende Arbeit als Grundlage herangezogen werden.

Anhang A

Probanden

A.1 Normalhörende

Tabelle A.1: Informationen zu den normalhörenden Probanden, die an den Experimenten teilgenommen haben. Anmerkung: Proband 1 und 2 führten das Experiment in Kap. 6 durch. Beim Experiment in Kap. 7 nahm Proband 1 nicht teil.

	Proband	Geschlecht	Alter	Testseite
Kap.5	1	m	33	
	2	w	30	
	3	w	26	
	4	m	27	
Kap.6 / 7	1	w	29	
	2	w	23	
	3	m	27	
	4	m	30	
	5	m	36	
	6	m	29	
	7	m	29	
	8	m	34	
	9	w	30	
	10	w	28	
Kap. 8	1	w	28	re
	2	m	30	re
	3	m	26	re
	4	m	27	li
	5	m	34	li
	6	m	28	li

Tabelle A.1: Informationen zu den normalhörenden Probanden, die an den Experimenten teilgenommen haben. Anmerkung: Proband 1 und 2 führten das Experiment in Kap. 6 durch. Beim Experiment in Kap. 7 nahm Proband 1 nicht teil.

Proband	Geschlecht	Alter	Testseite
7	m	29	re

A.2 Hörschwellen der Probanden

Hier wird wie bei (Gelfand et al., 1986) von normalhörend gesprochen, wenn der Hörverlust im Bereich von 250 Hz - 8000 Hz nicht größer als 25 dB HL ist. Ähnlich definiert auch Woods et al. (2015a) die normalhörenden Probanden, die allerdings schon älter waren: Hier wird bei von einem Hörverlust kleiner oder gleich 25 dB HL in den Frequenzen 0.25 Hz - 4kHz von normalhörend gesprochen.

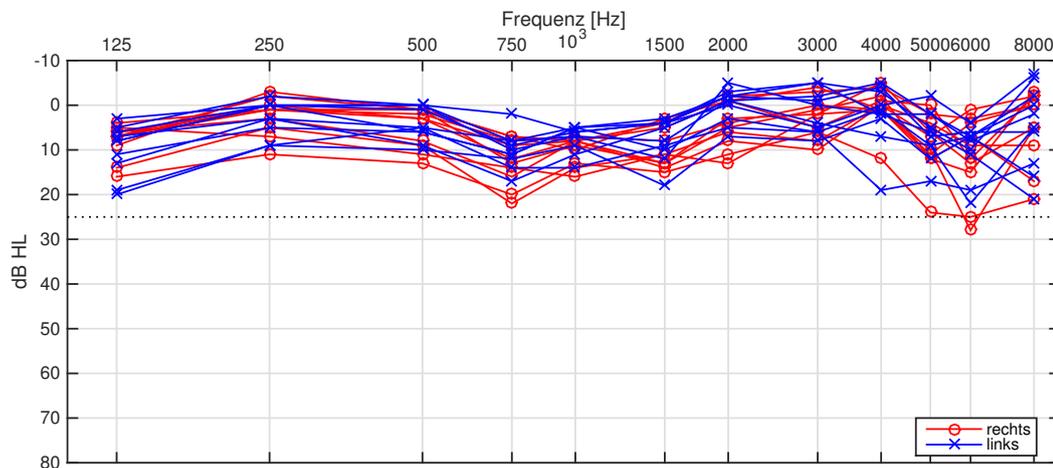


Abbildung A.1: Hörschwellen der normalhörenden Probanden, die an den Experimenten in Kap. 6 und 7 teilgenommen haben.

A.3 CI-Träger

Tabelle A.2: Informationen zu den CI-Trägern, die an den Experimenten teilgenommen haben.

Pb	Alter	m/w	Test- seite	Kod.- strategie	Implantat	Elektrode	Prozessor	Ätiologie
Kap. 5								
1	47	m	re	FSP	C40+	Standard	Rondo	unbekannt
			li	FSP	C40+	Standard	Rondo	unbekannt
3	54	w	re	FS4	Pulsarci100	Pulsar	Opus2	progredient
			li	FS4-p	Pulsarci100	Standard	Opus2	progredient
2	44	w	re	FS4	Pulsarci100	Standard	Opus2	unbekannt
			li	FS4	Concerto	Flex28	Opus2	unbekannt
4	73	m	re	HDCIS	Pulsar	Standard	Opus2	Hörsturz
			li	HDCIS	C40+	Standard	Opus2	Hörsturz
Kap. 6 und 7								
1	56	w	li	FS4-p	Pulsarci100	Standard	Opus2	progredient
2	66	w	li	FSp	Pulsarci100	Standard	Opus2	hochgradige SH
3	61	m	li	FS4	Flex28	Concerto	Opus2	progredient
4	57	w	re	FS4	Concerto	Standard	Opus2	unbekannt*
5	39	w	li	FS4	Synchrony	Standard	Sonnett	progredient
6	19	m	re	FS4	Concerto	Standard	Opus2	plötzlicher Hörverlust
7	57	m	re	FS4	Concerto	Standard	Opus2	progredient*
8	53	w	re	FSp	Sonata	Standard	Opus2	unbekannt**
9	71	w	re	FSP	Sonatai100	Standard	Opus2	unbekannt
10	45	w	re	FSP	Sonatai100	Standard	Opus2	hochgradige SH
11	43	w	re	FSP	Concerto	Standard	Opus2	hochgradige SH
	73	w	li	FSp	Concerto	Standard	Opus2	hochgradige SH ⁺
*: Abbruch Experiment Kap. 7, **: Ausschluss Experiment Kap. 6, +: Abbruch								
Kap. 8								
1	45	w	li	HDCIS	Concerto	Standard	Opus2	Otosklerose
2	19	w	li	HDCIS	Sonata	Standard	Opus2	unbekannt
3	47	w	li	HDCIS	C40+	Standard	Opus2	progredient
4	59	m	li	HDCIS	Sonata	Standard	Opus2	unbekannt
5	60	w	re	HDCIS	C40+	Standard	Rondo	unbekannt
6	63	m	re	FS4	Concerto	FlexSoft	Opus2	unbekannt

Anhang B

Einteilung der verwendeten Wörter in Gruppen nach phonetischen Gesichtspunkten

Es wurden folgende Konsonantengruppen unterschieden: Nasale/Liquide, Frikative (und Liquid/Nasal), Plosive (und Liquid/Nasal), Plosive/Frikative (und Liquid/Nasal). Die Wörter wurden dahingehend zugeteilt, welche Konsonantengruppe mehrheitlich im Wort vertreten war für die Auswertung der Ergebnisse in Kap. 6 und 7.

- überwiegend Nasal/Liquid: Nina, neun, jagen, jubelt, malen, jubeln, niesen, Kellner, malt, kleine, lächelt, gähnen
- überwiegend Frikativ (und Liquid): Frosch, Hase, schwere, vier, Schuhe, fünf, nasse, Messer, schöne, Elch, Wolfgang, Esel, Hund
- überwiegend Plosiv (und Liquid): treten, Panda, Tiger, tadelt, Gaertner, Baer, Bilder, Peter, drei, gibt, Igel, alte
- Plosiv und Frikativ (und Liquid): Fuchs, tröstet, zittert, trösten, küssen, Metzger, Ärztin, kauft, acht, Stefan, Thomas, schenkt, Autos, sieht, Dosen, wecken, Köchin

Die Zuteilung der 25 Wörter aus dem OLSA, die noch nicht in den vorangegangenen Experimenten zugeordnet wurden und in Kapitel 8 verwendet wurden:

- überwiegend Nasal/Liquid: Ulrich, Tanja, grüne, Ringe, Blumen, nahm
- überwiegend Frikativ (und Liquid): weiße, Sessel, elf, zwei, achtzehn, zwölf
- überwiegend Plosiv (und Liquid): Kerstin, Britta, rote, bekommt, teure

- Plosiv und Frikativ (und Liquid): Doris, große, gewann, hat, verleiht, sieben, Steine, Tassen

Für die Betrachtung der Vokale wurden die Wörter nach dem Vokal der betonten Silbe beurteilt. Anschließend wurden die Vokale nach den Frequenzen der ersten beiden Formanten gruppiert (Rausch (1972) und ϵ : nach Sendlmeier und Seebode (2006), vgl. hierzu Abb. 3.1):

- /a/,/a:/ - /a, a:/: acht, alte, nasse, Panda, malt, tadelt, jagen, malen, Hase
- /ai/ /oi/ /au/ (Diphthonge): drei, kleine, Autos, kauft, neun
- /y/,/oe:/: fünf, küssen, schöne, trösten, tröstet
- /oe/: Köchin
- /u/,/o:/: Hund, Fuchs, Thomas, Dosen
- /u:/: jubelt, jubeln, Schuhe
- /o/: Frosch, Wolfgang
- /i/,/e:/: zittert, gibt, Bilder, Peter, schwere, treten, Esel
- /r:/: Tiger, Igel, niesen, Nina, sieht, vier
- / ϵ /,/ ϵ :/: schenkt, Stefan, Messer, Elch, Ärztin, Metzger, lächelt, Gärtner, Bär, Kellner, wecken, gähnen

Zuordnung der restlichen 25 Wörter aus dem OLSA für die Auswertung des Experiments in Kapitel 8:

- /a/,/a:/ - /a, a:/: Tanja, gewann, nahm, hat, achtzehn, Tassen
- /ai/ /oi/ /au/ (Diphthonge): zwei, verleiht, Steine, weiße, teure
- /y/,/oe:/: -
- /y:/: grüne
- /oe/: zwölf
- /u/,/o:/: Ulrich, Doris, große, rote
- /u:/: Blumen
- /o/: bekommt

- /i/,/eɪ/: Britta, Ringe
- /ɪ/: sieben
- /ɛ/,/eɪ/: Kerstin, Sessel, elf

Anhang C

Verwendete Fünf-Wort-Listen

Tabelle C.1: Die für das in Kapitel 7 beschriebene Experiment verwendeten Listen. Aufgeführt sind die 17 Listen, die Permutationen der Wörter sind hier nicht aufgeführt. Die Reihenfolge der Wörter änderte sich nicht.

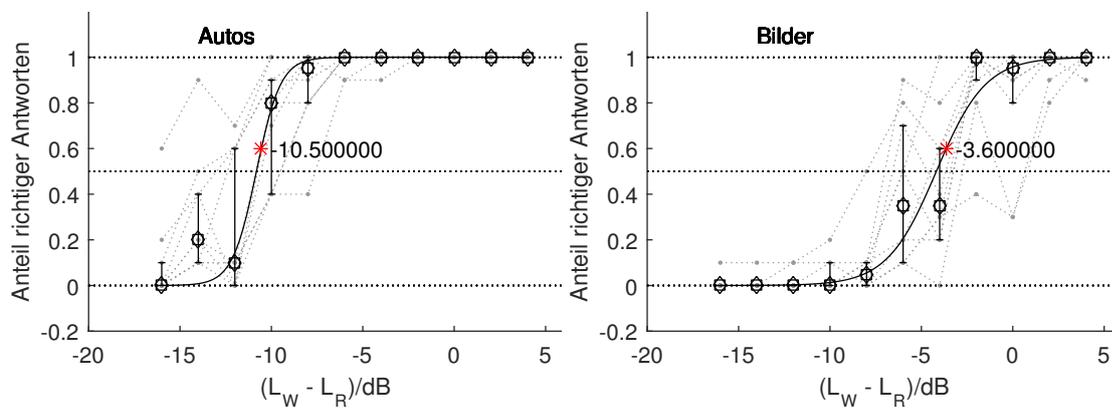
Thema	Wort 1	Wort 2	Wort 3	Wort 4	Wort 5
Namen	Peter	Wolfgang	Stefan	Thomas	Nina
Berufe	Kellner	Metzger	Köchin	Gärtner	Ärztin
Objekte	Autos	Messer	Bilder	Schuhe	Dosen
Tiere 1	Elch	Bär	Frosch	Hund	Fuchs
Tiere 2	Igel	Panda	Tiger	Hase	Esel
Zahlen	vier	neun	fünf	drei	acht
Adjektive	nasse	schöne	alte	schwere	kleine
Verben flektiert	tröstet	jubelt	lächelt	tadelt	zittert
Verben Infinitiv	malen	niesen	jubeln	treten	wecken
Verben Infinitiv	küssen	jagen	gähnen	malen	trösten
Verben Infinitiv	gähnen	malen	jubeln	niesen	jagen
Verben flektiert	gibt	kauft	sieht	malt	schenkt
Satz	neun	Nina	nasse	malt	Dosen
Satz	acht	Peter	alte	kauft	Autos
Satz	fünf	Wolfgang	schöne	gibt	Messer
Satz	drei	Stefan	kleine	sieht	Schuhe
Satz	vier	Thomas	schwere	schenkt	Bilder

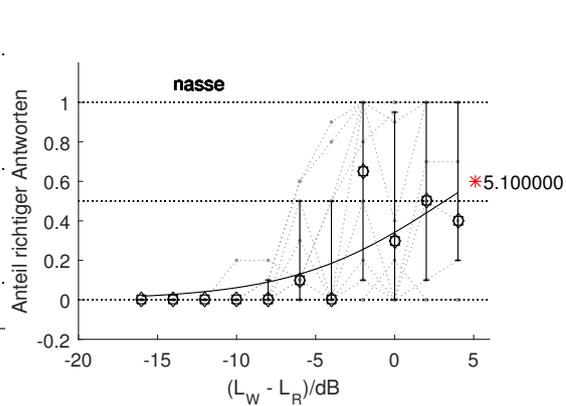
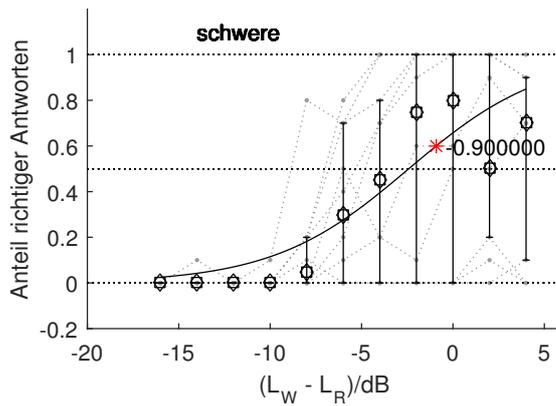
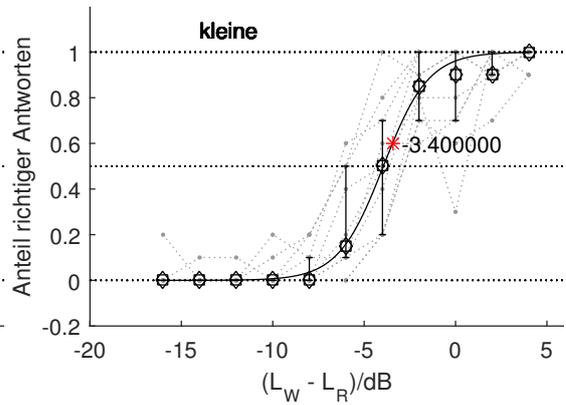
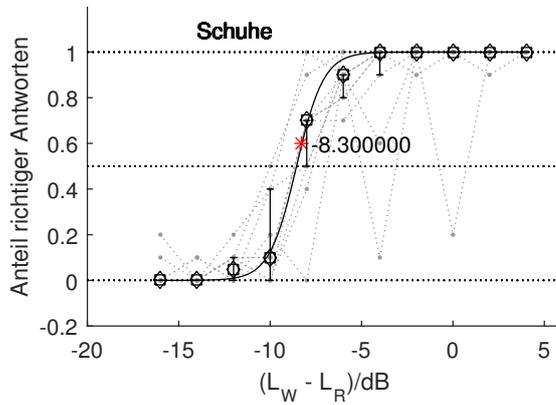
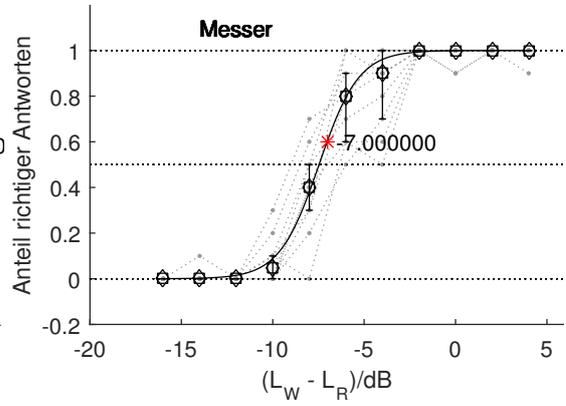
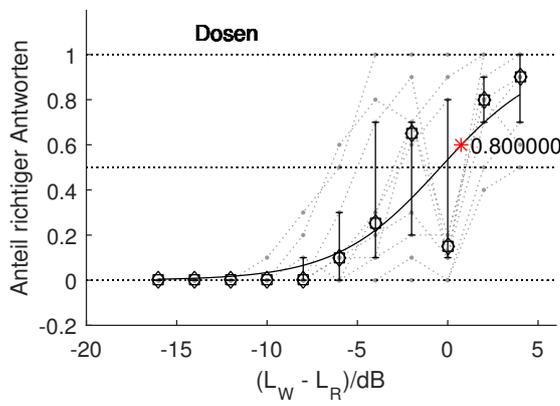
Anhang D

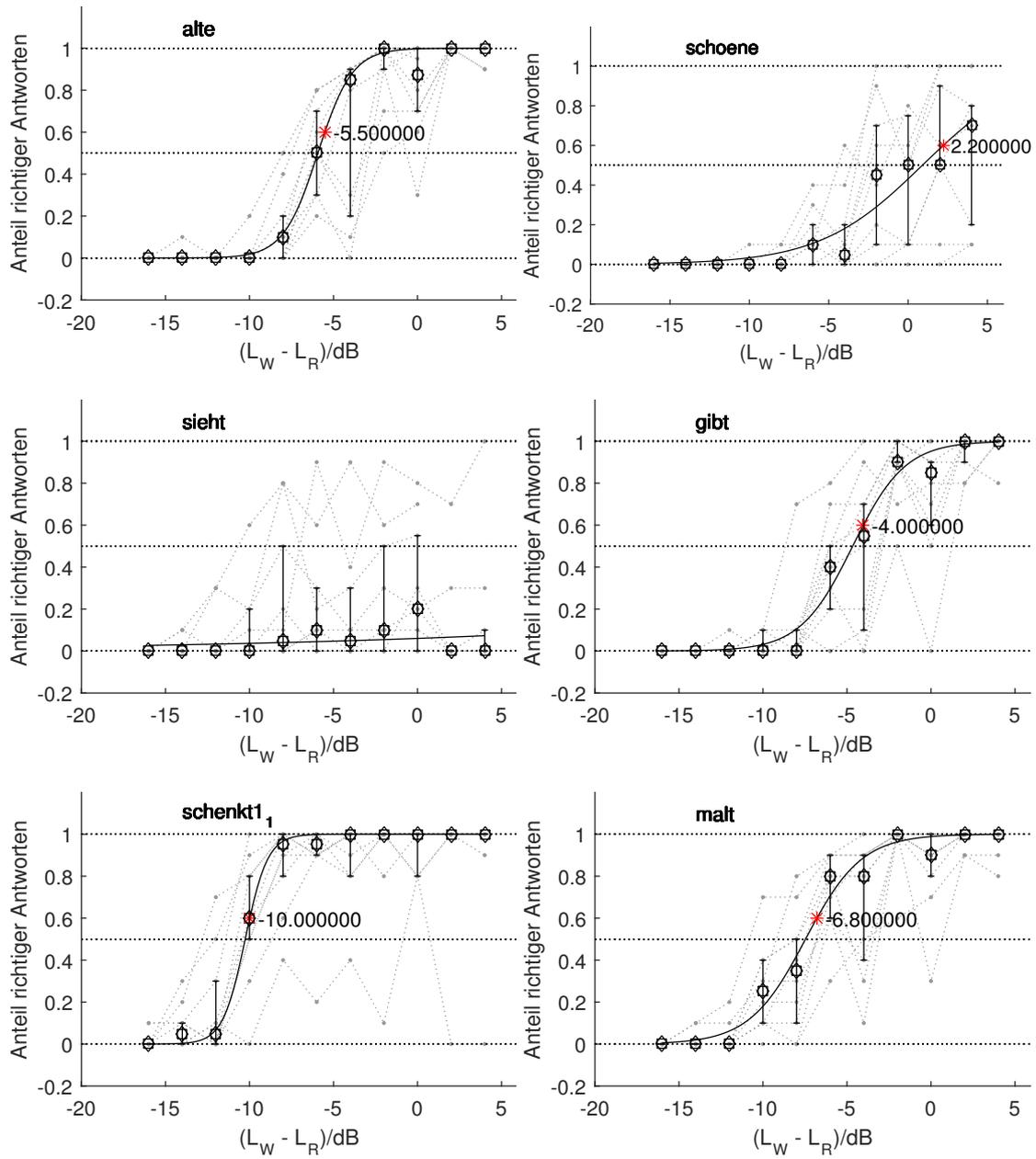
Ergebnisse zur Wortverständlichkeit der Einzelwörter

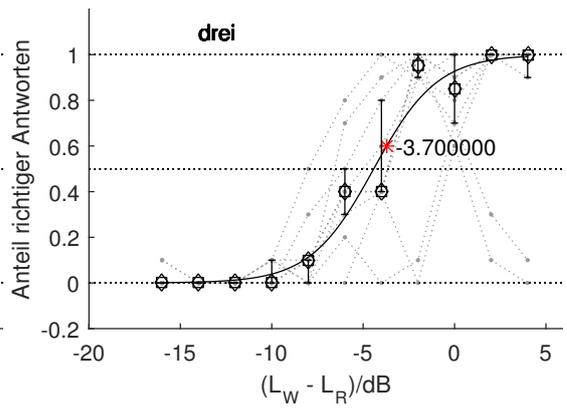
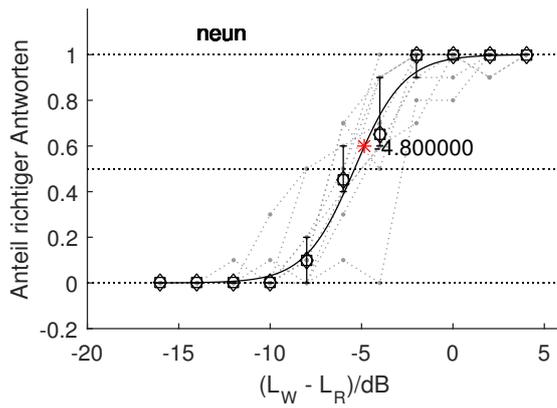
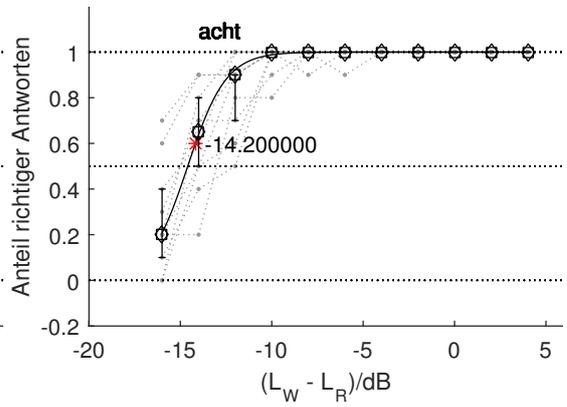
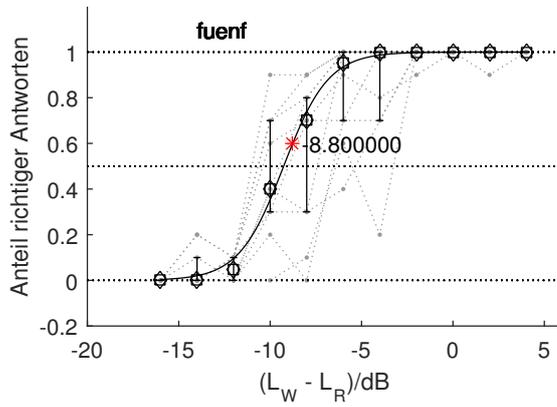
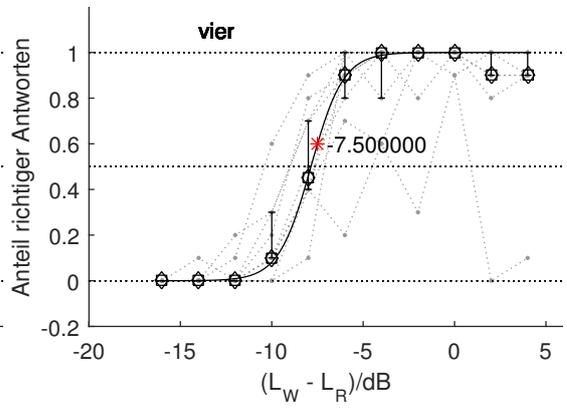
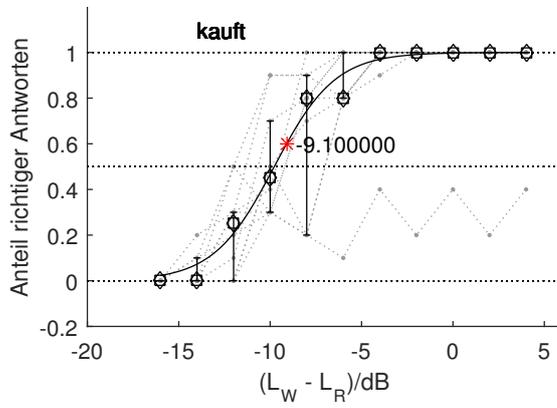
D.1 OLSA-Wörter (Normalhörende)

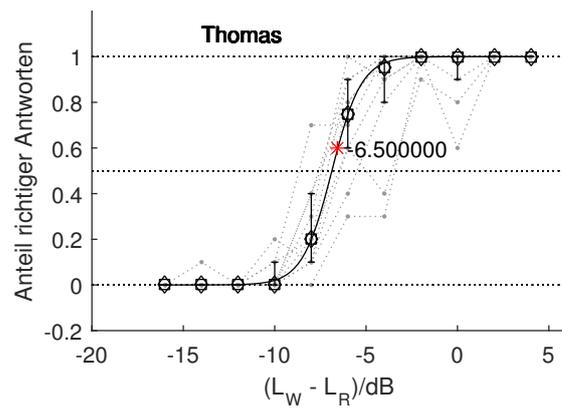
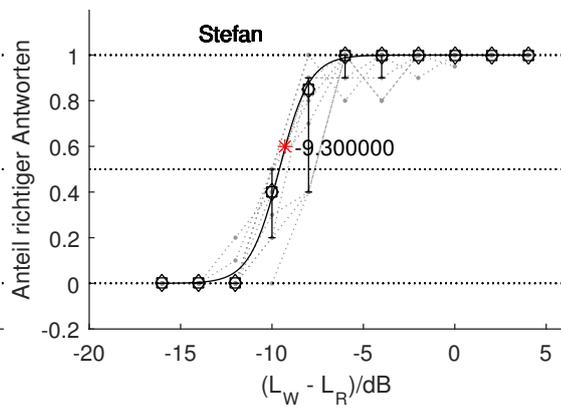
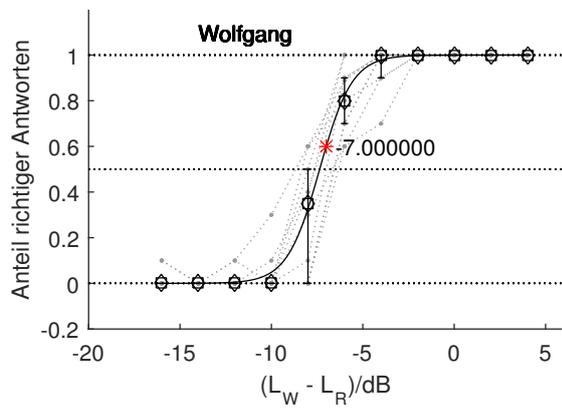
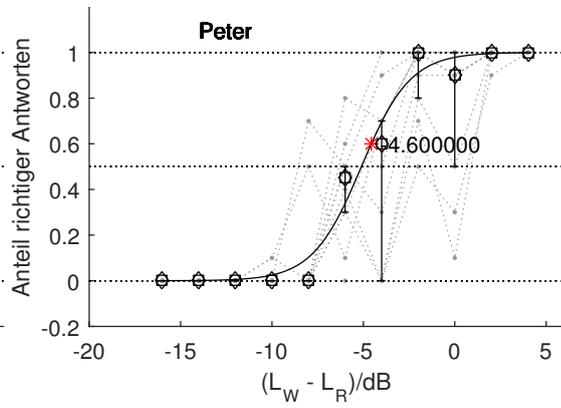
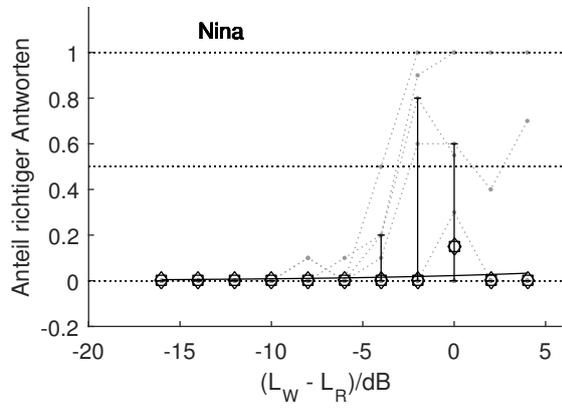
Die Abbildungen zeigen die Einzelergebnisse der normalhörenden Probanden (grau), die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche und die daraus ermittelte psychometrische Funktion (schwarz) für die Wörter des OLSAs. Markiert ist auch der Wert, bei dem 60% Verständlichkeit des jeweiligen Wortes liegt (Sternchen). Diese Werte werden für das Experiment, welches in Kapitel 7 beschrieben wird, verwendet.





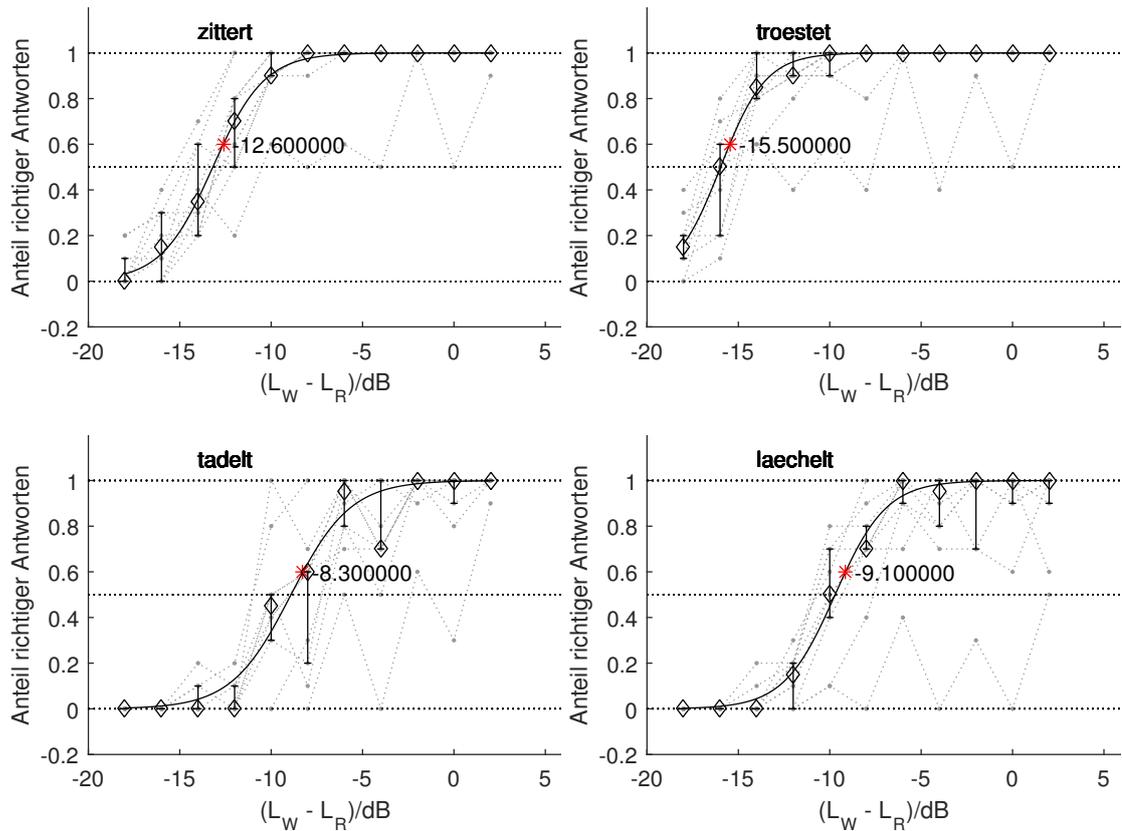


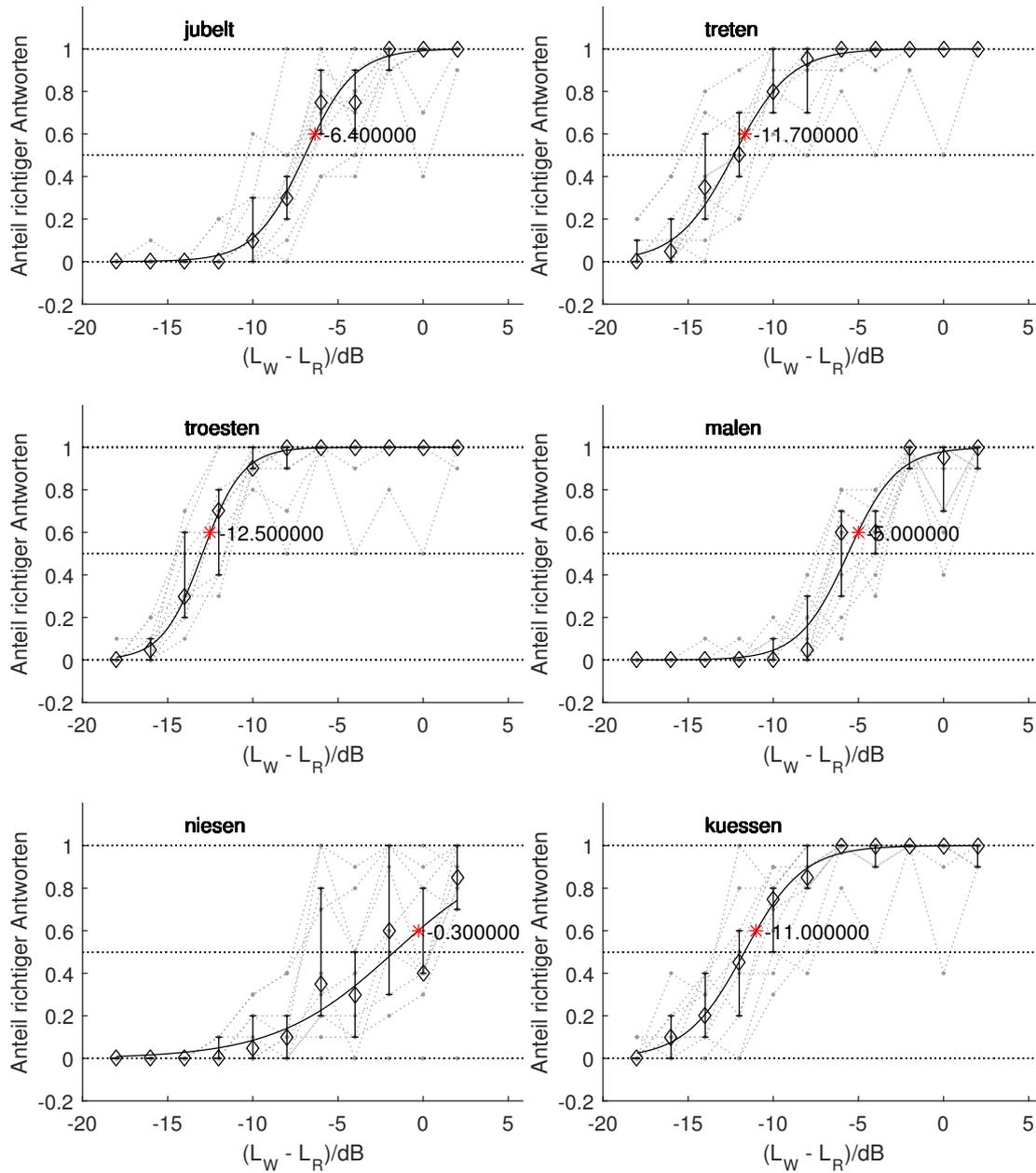


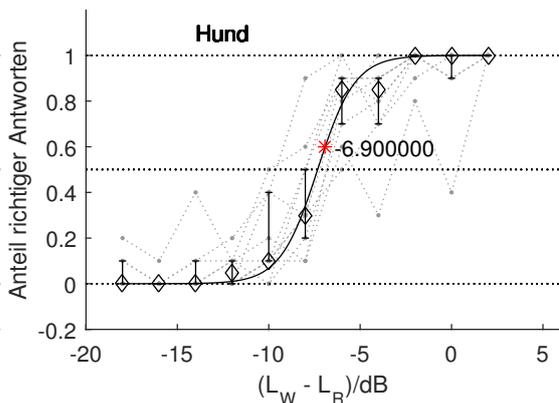
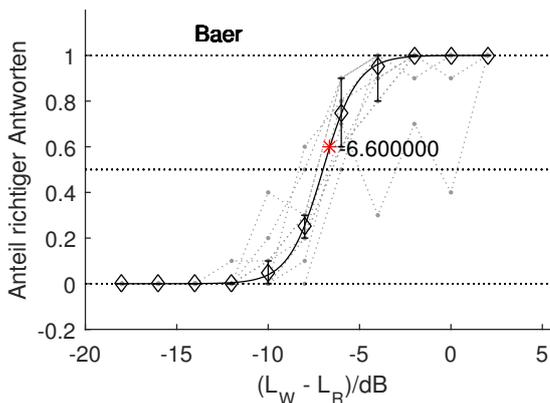
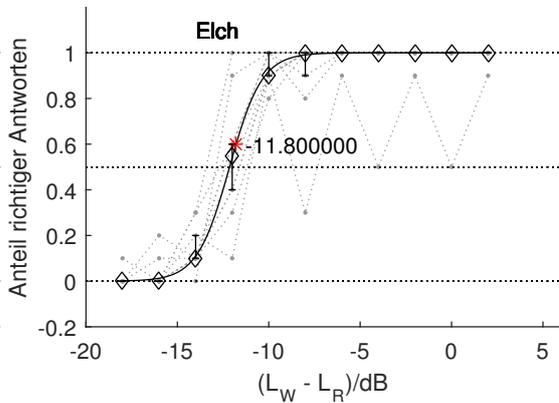
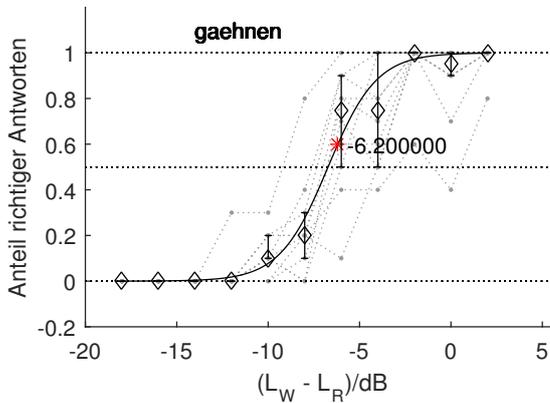
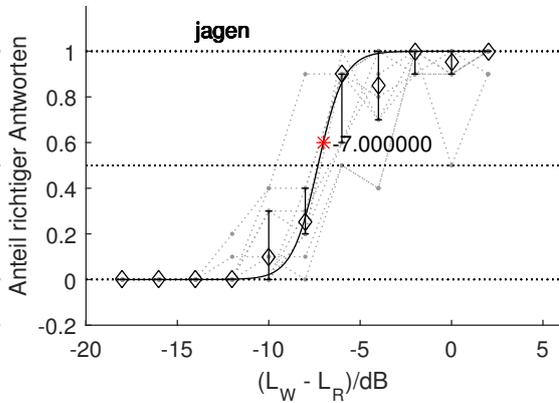
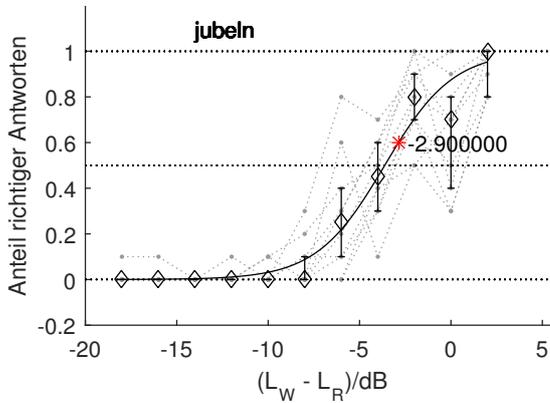


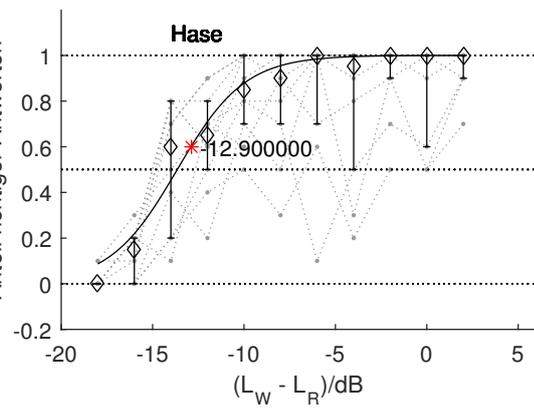
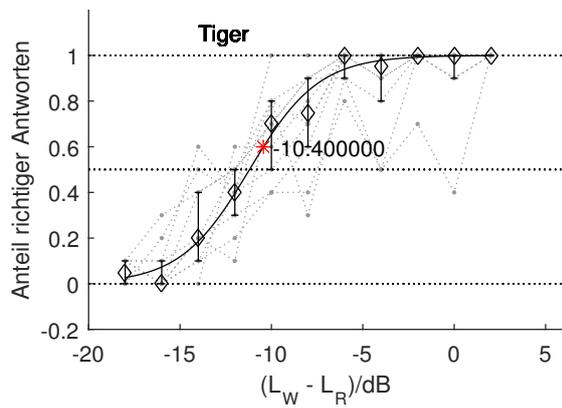
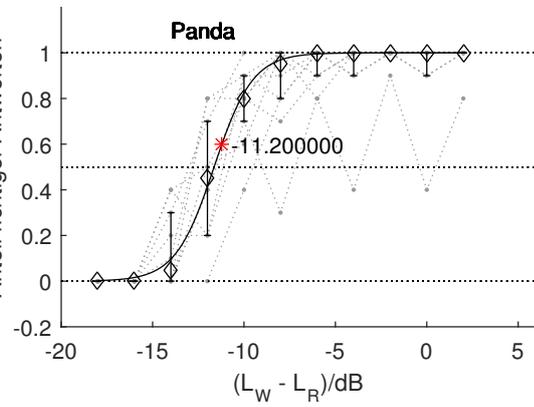
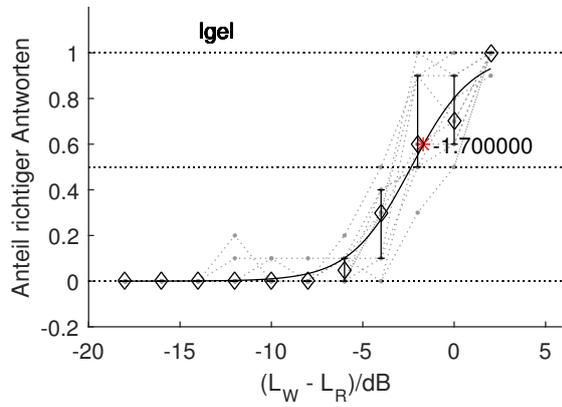
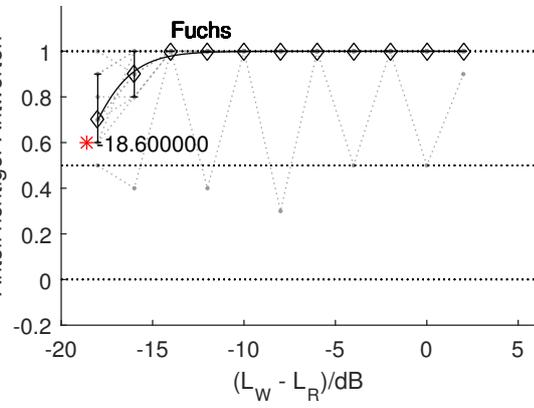
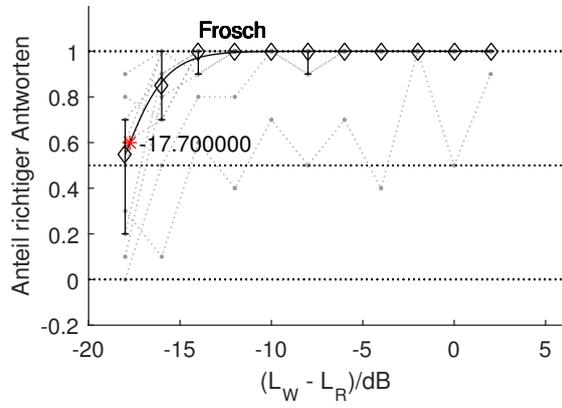
D.2 OlakS-Wörter (Normalhörende)

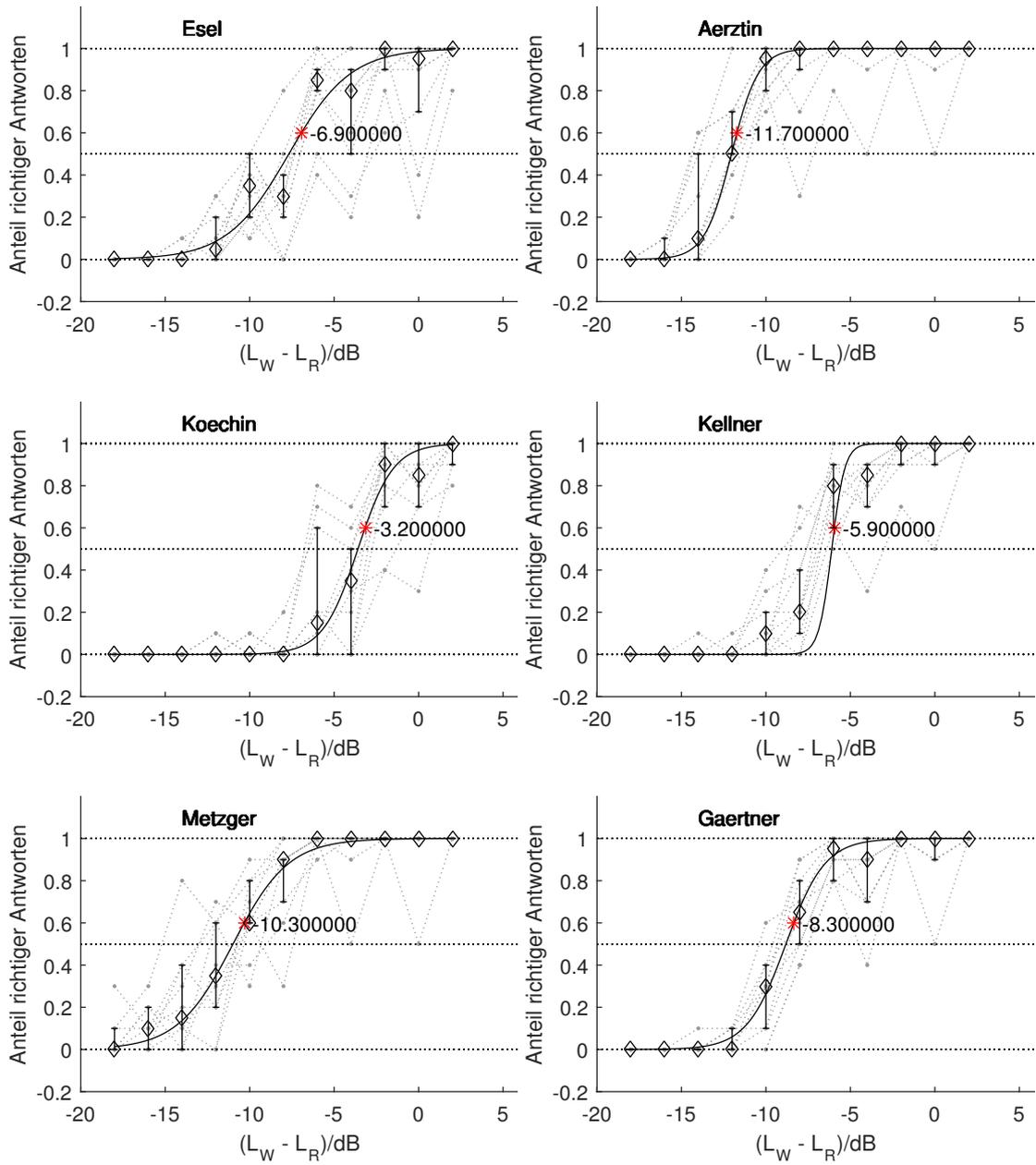
Die Abbildungen zeigen die Einzelergebnisse der normalhörenden Probanden (grau), die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche und die daraus ermittelte psychometrische Funktion (schwarz) für die Wörter des OlakSs. Markiert ist auch der Wert, bei dem 60% Verständlichkeit des jeweiligen Wortes liegt (Sternchen). Diese Werte werden für das Experiment, welches in Kapitel 7 beschrieben wird, verwendet.





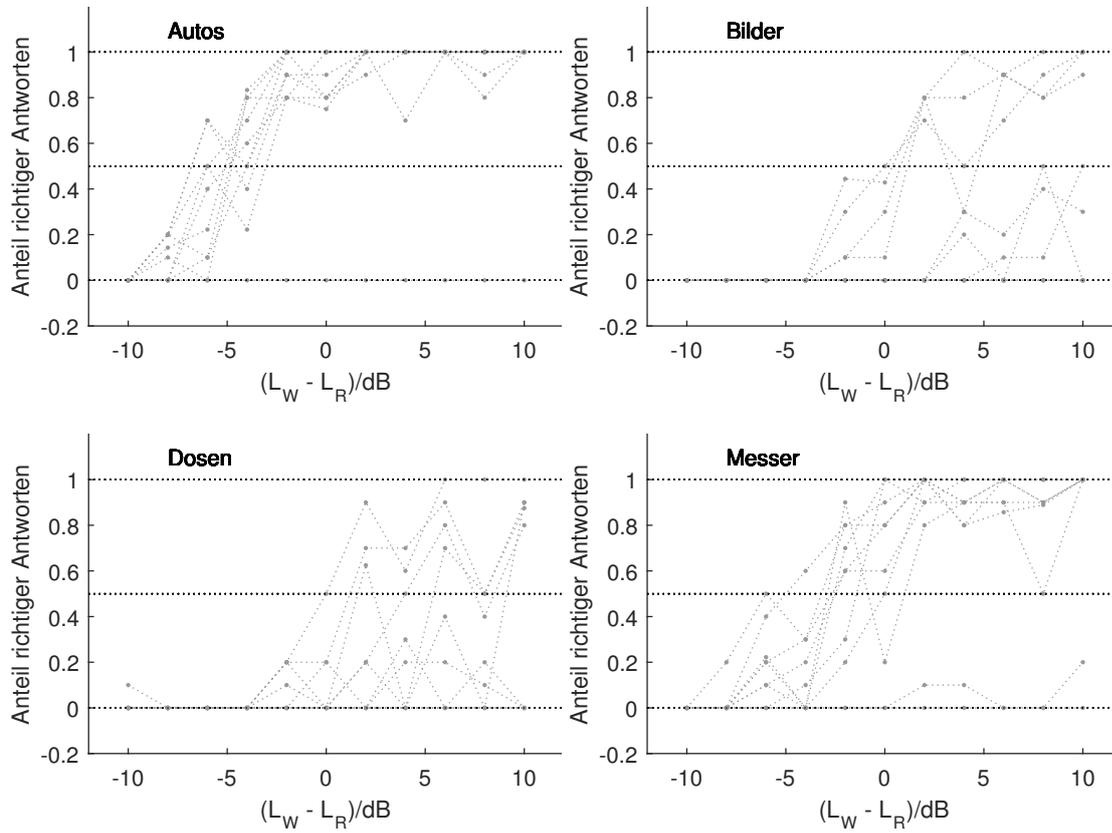


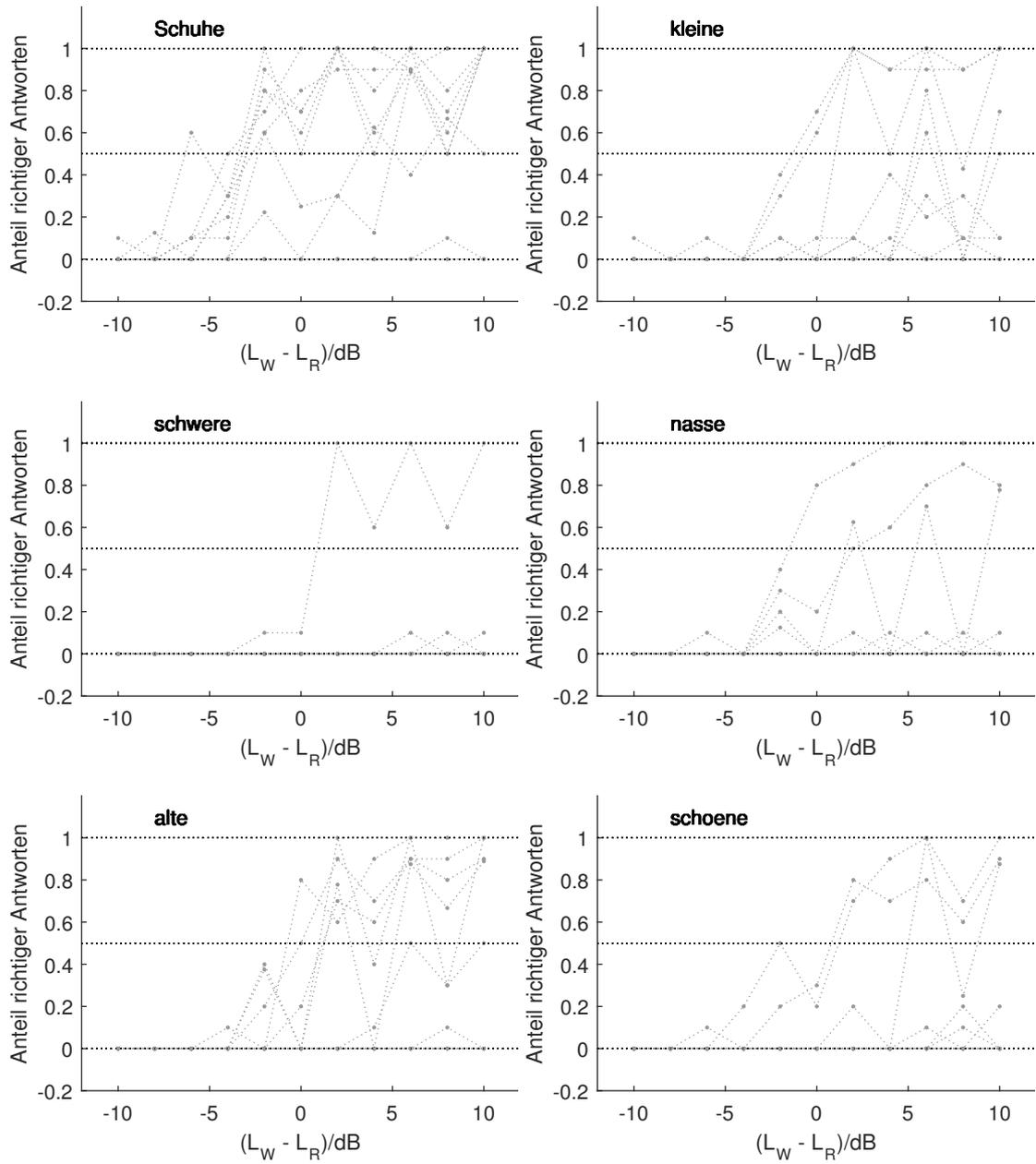


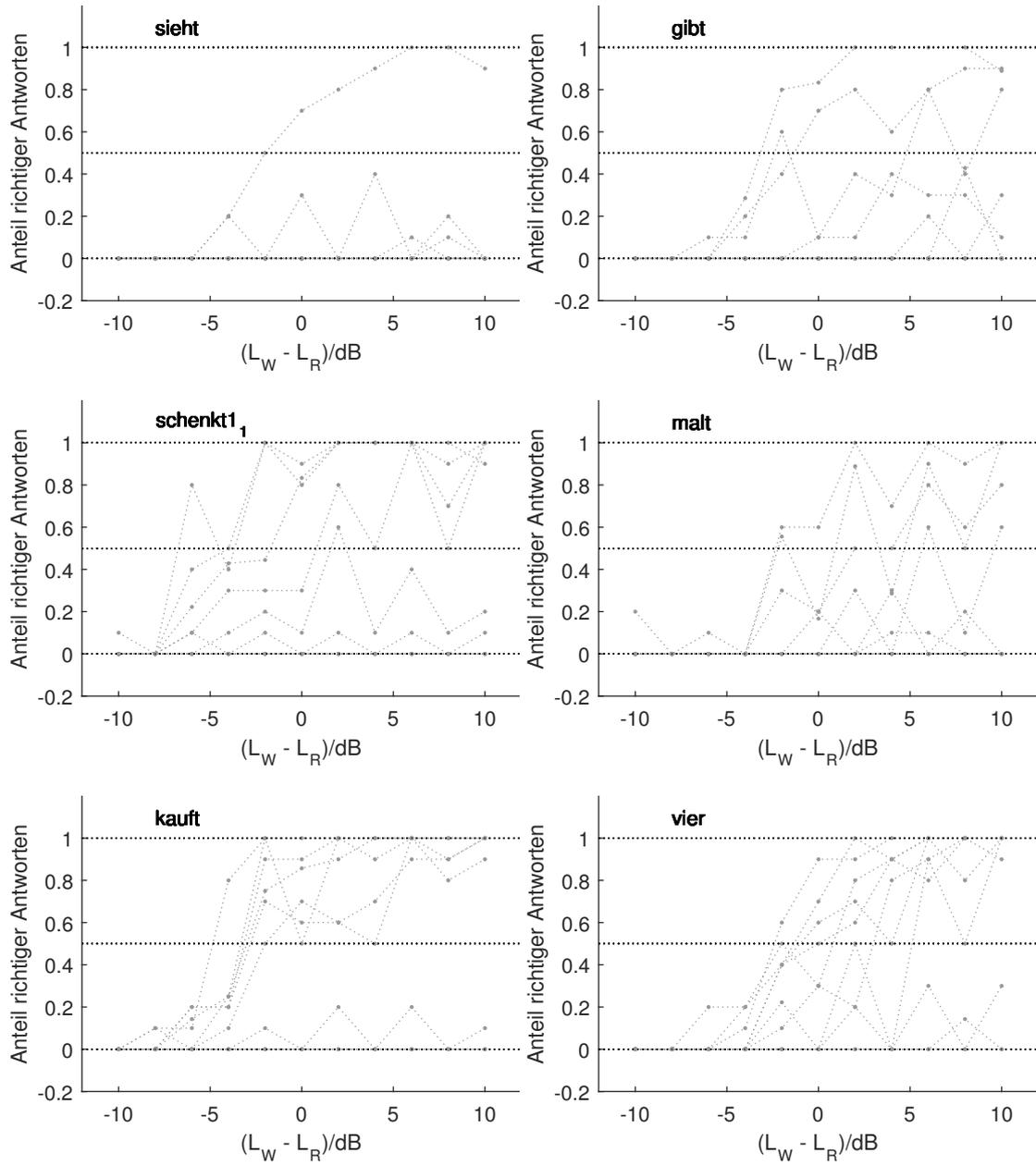


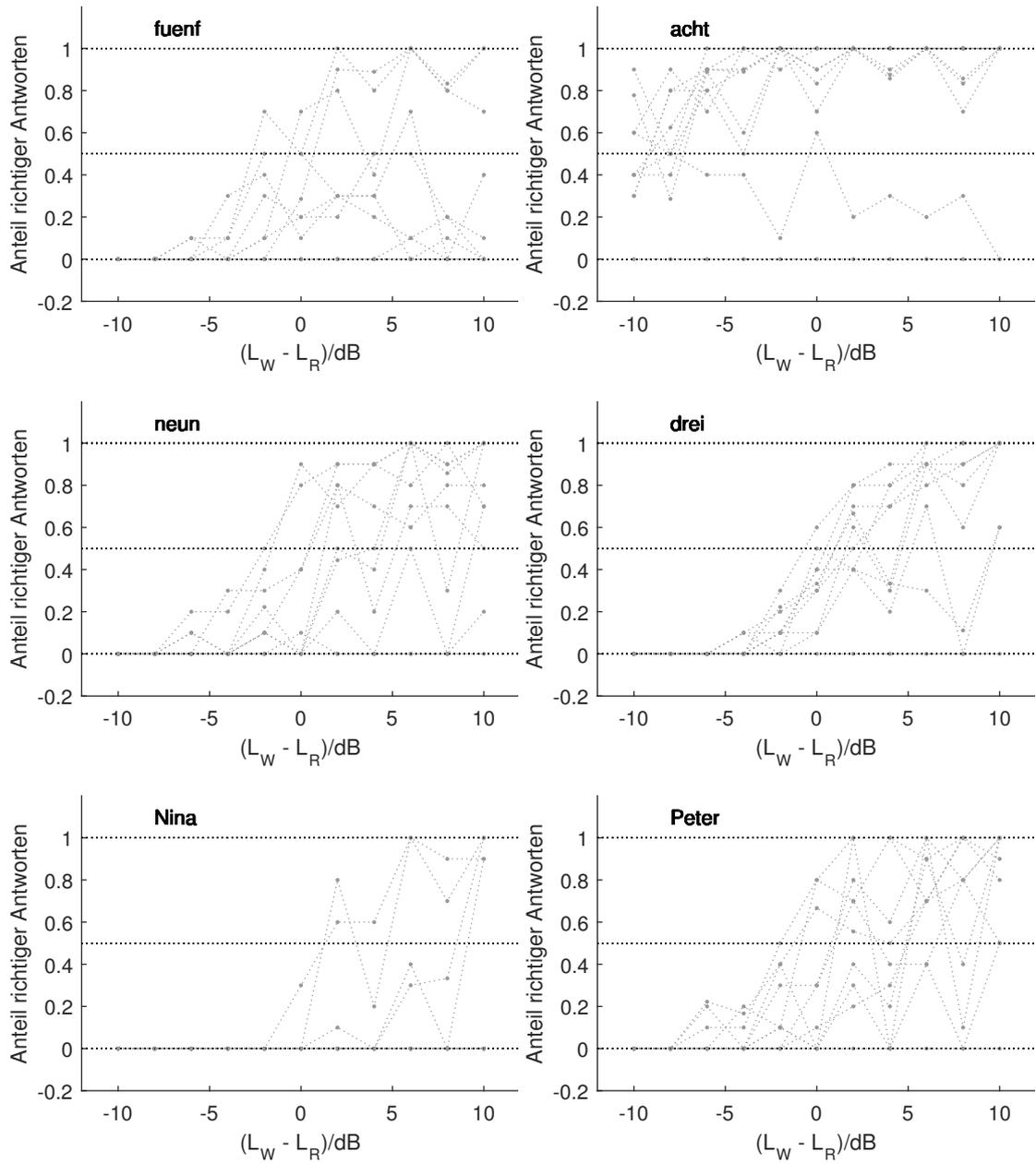
D.3 OLSA-Wörter (CI-Probanden)

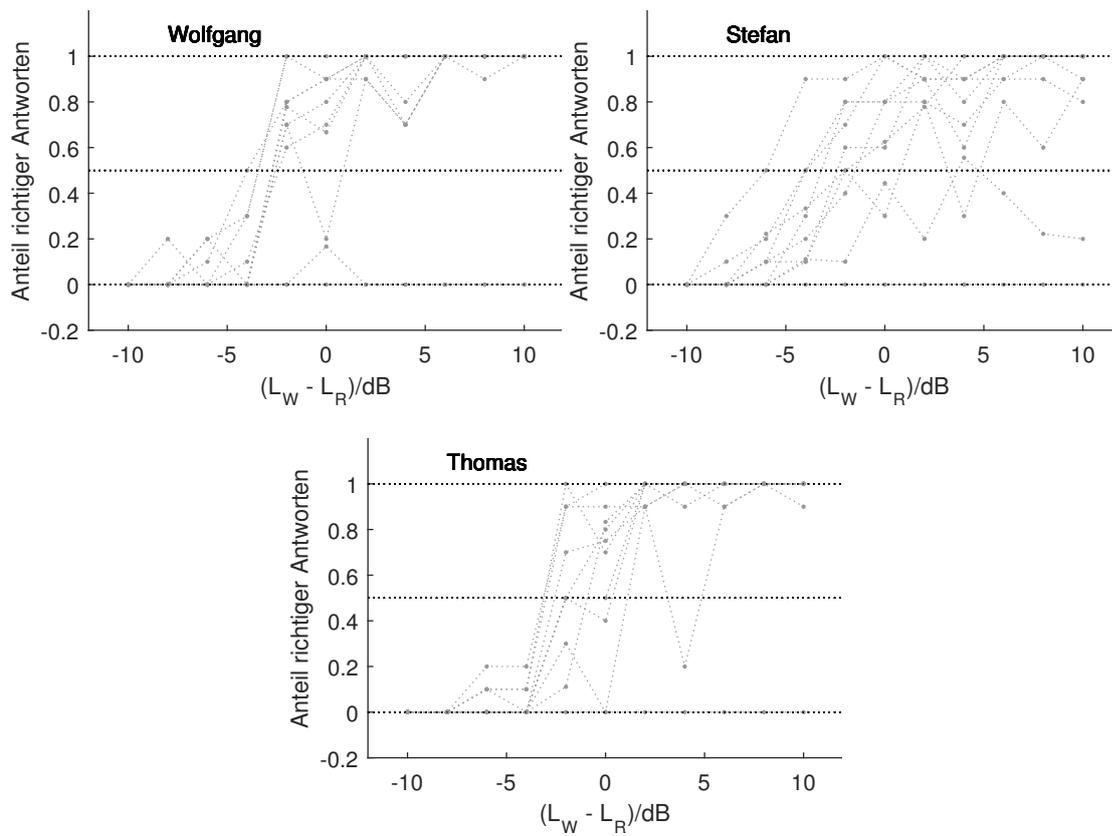
Die Abbildungen zeigen die Einzelergebnisse der CI-Träger (grau) für die Wörter des OLSAs.





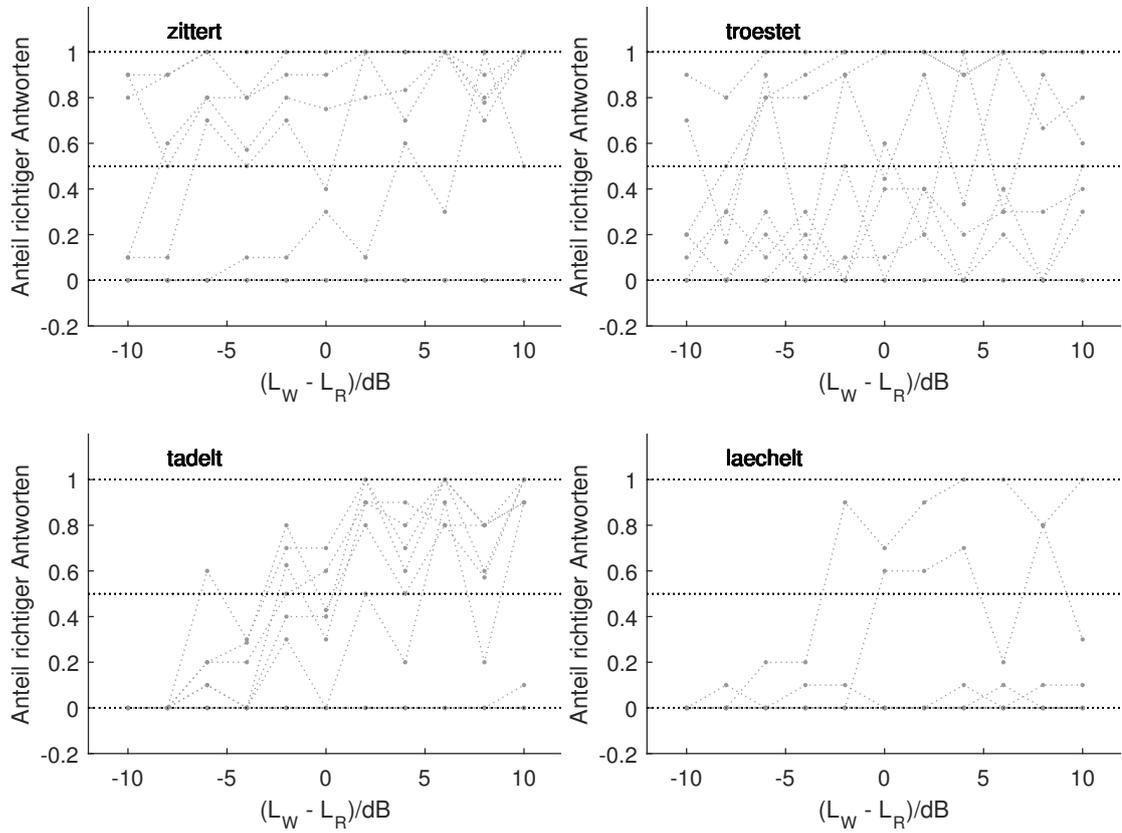


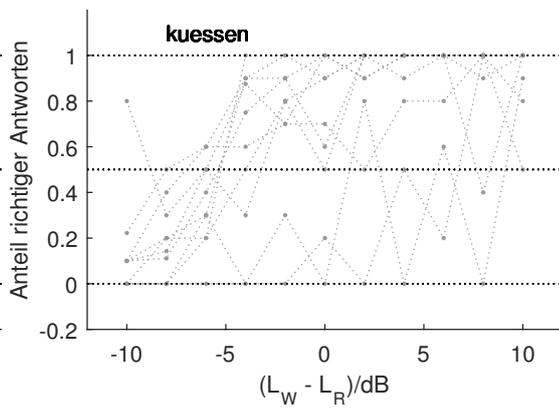
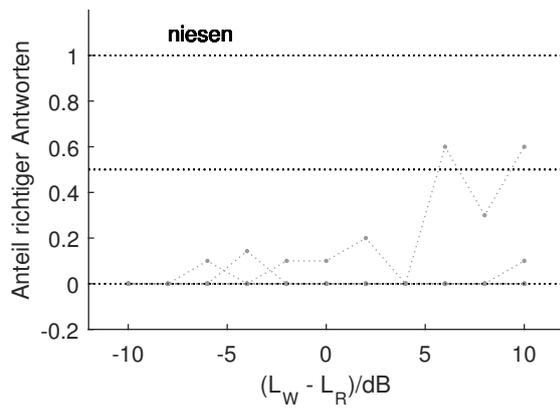
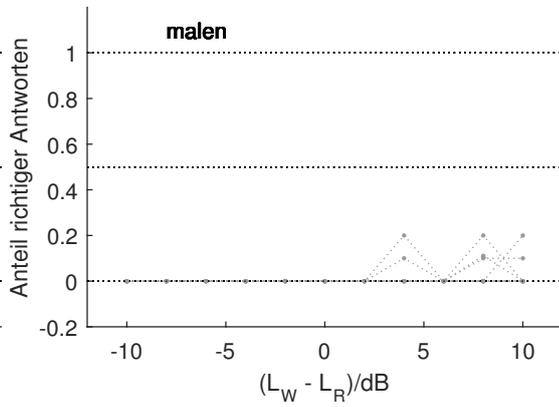
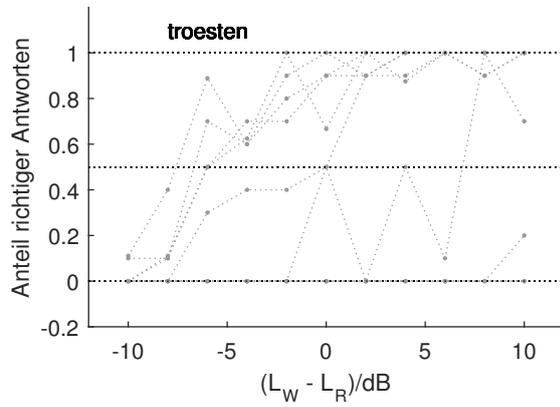
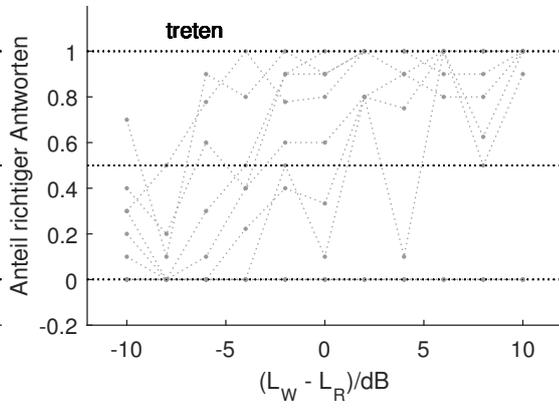
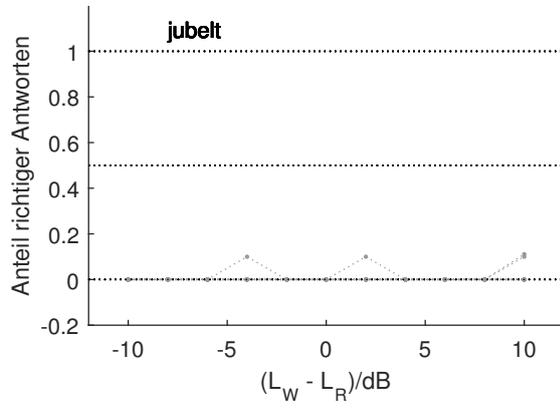


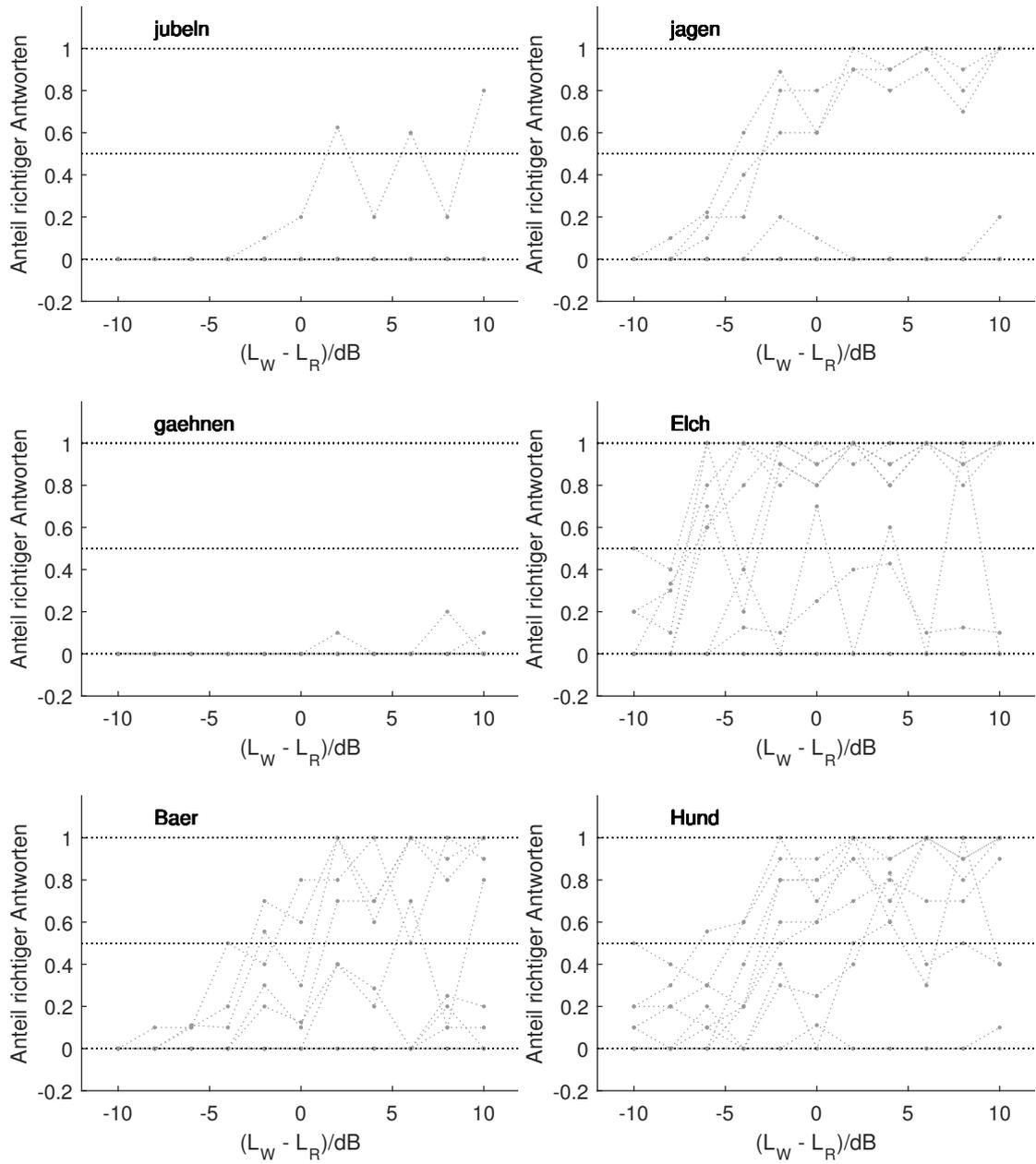


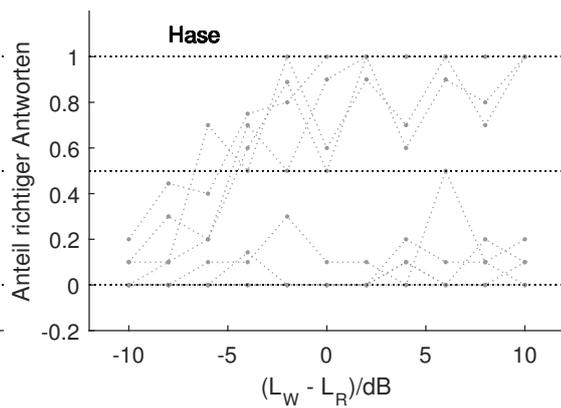
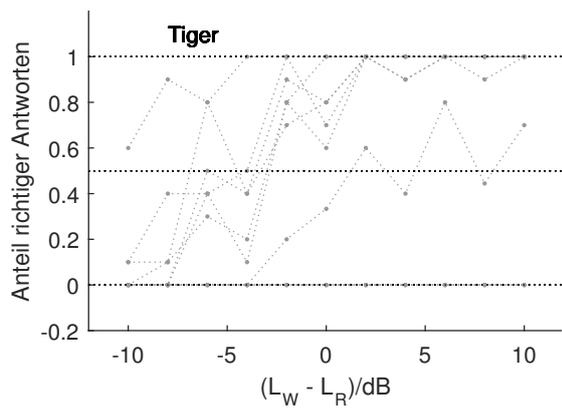
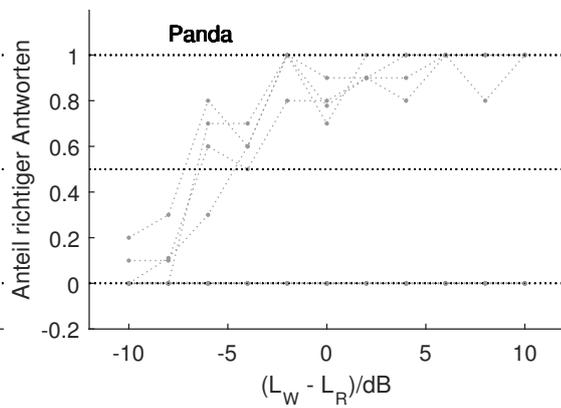
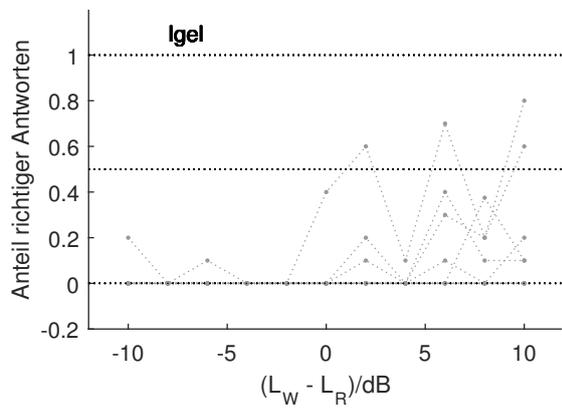
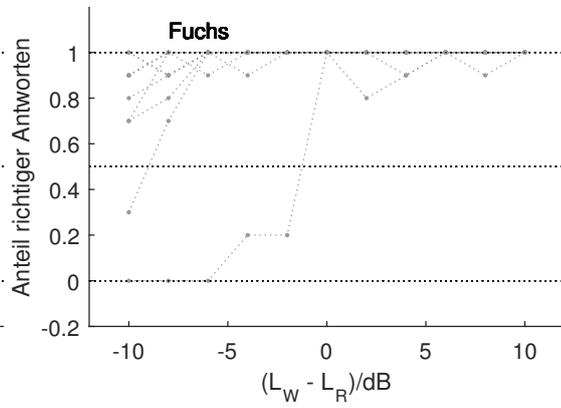
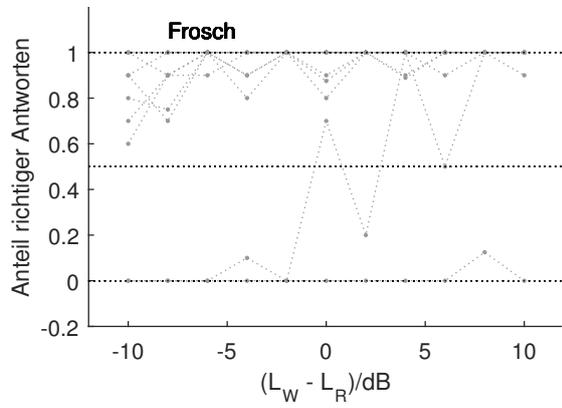
D.4 OlakS-Wörter (CI-Probanden)

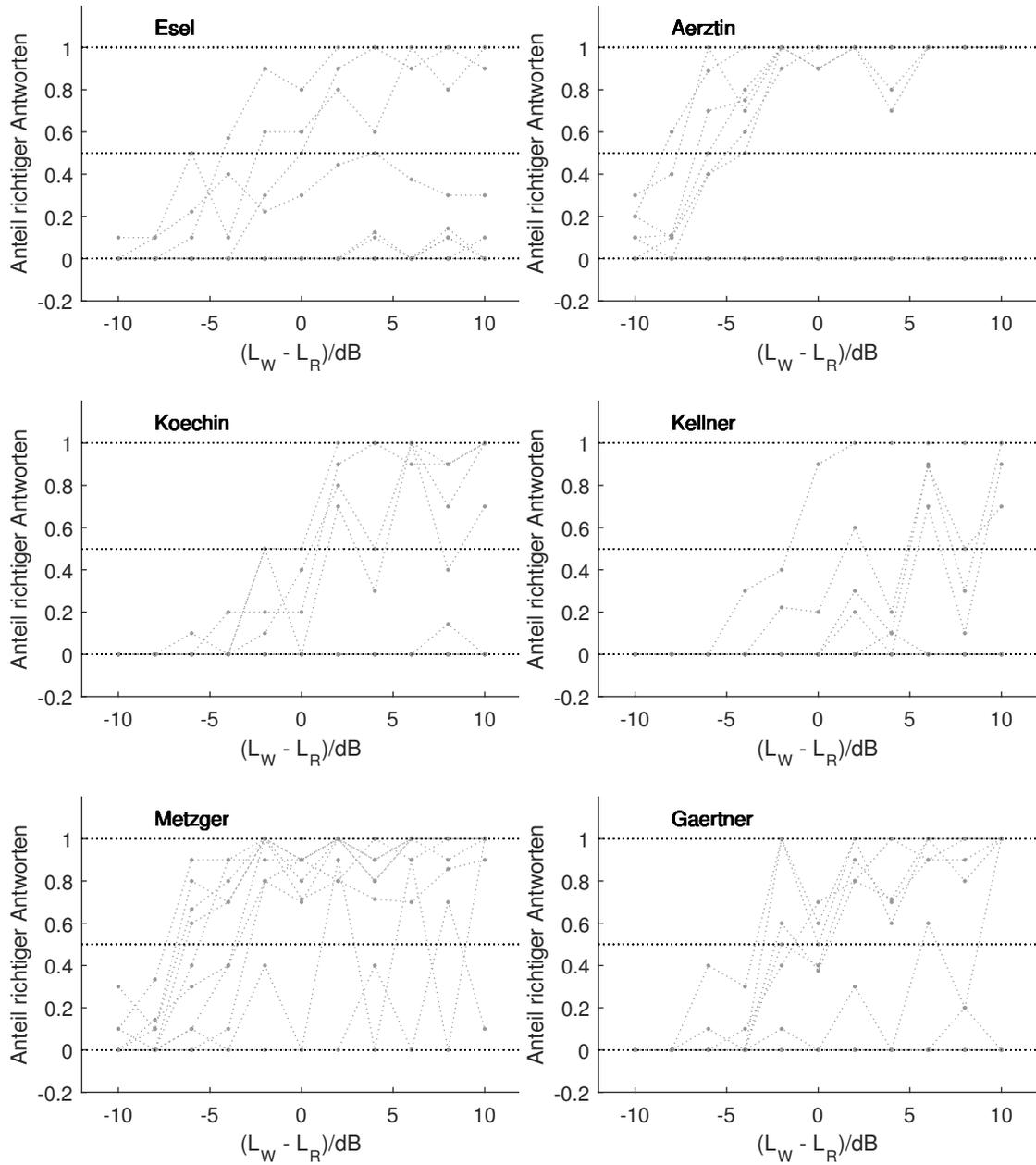
Die Abbildungen zeigen die Einzelergebnisse der CI-Träger (grau) für die Wörter des OlakSs.







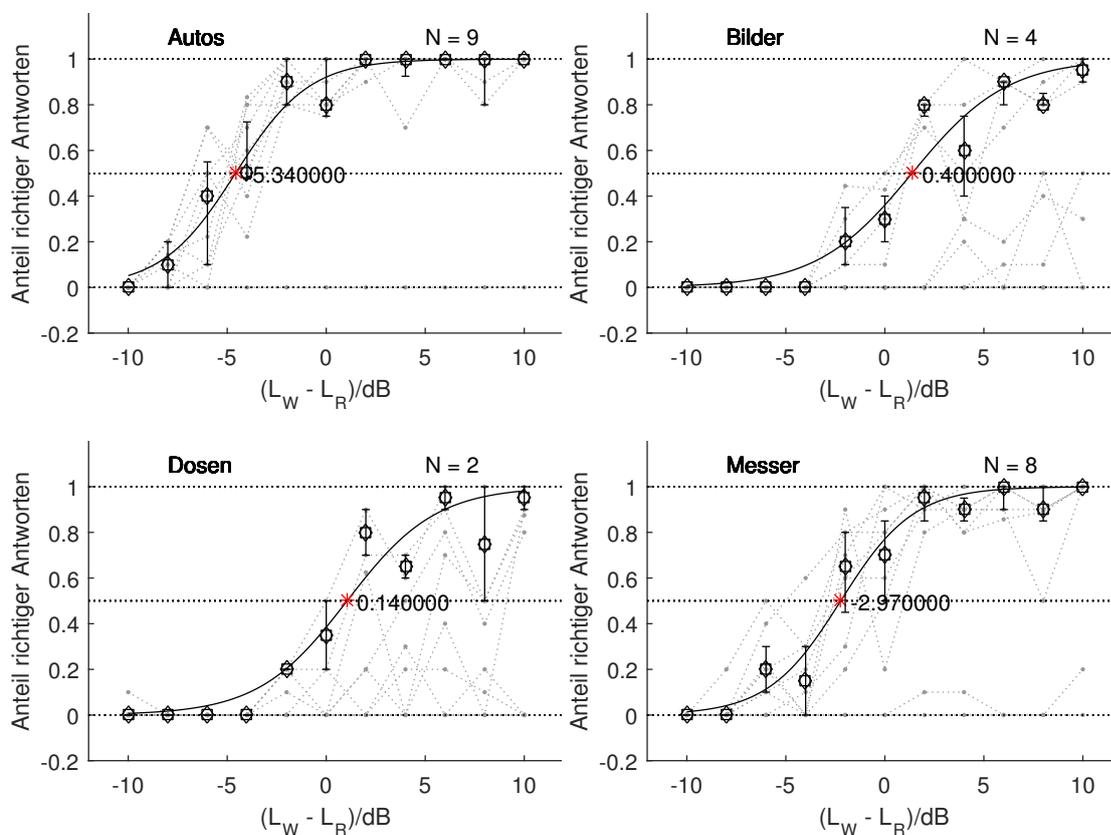


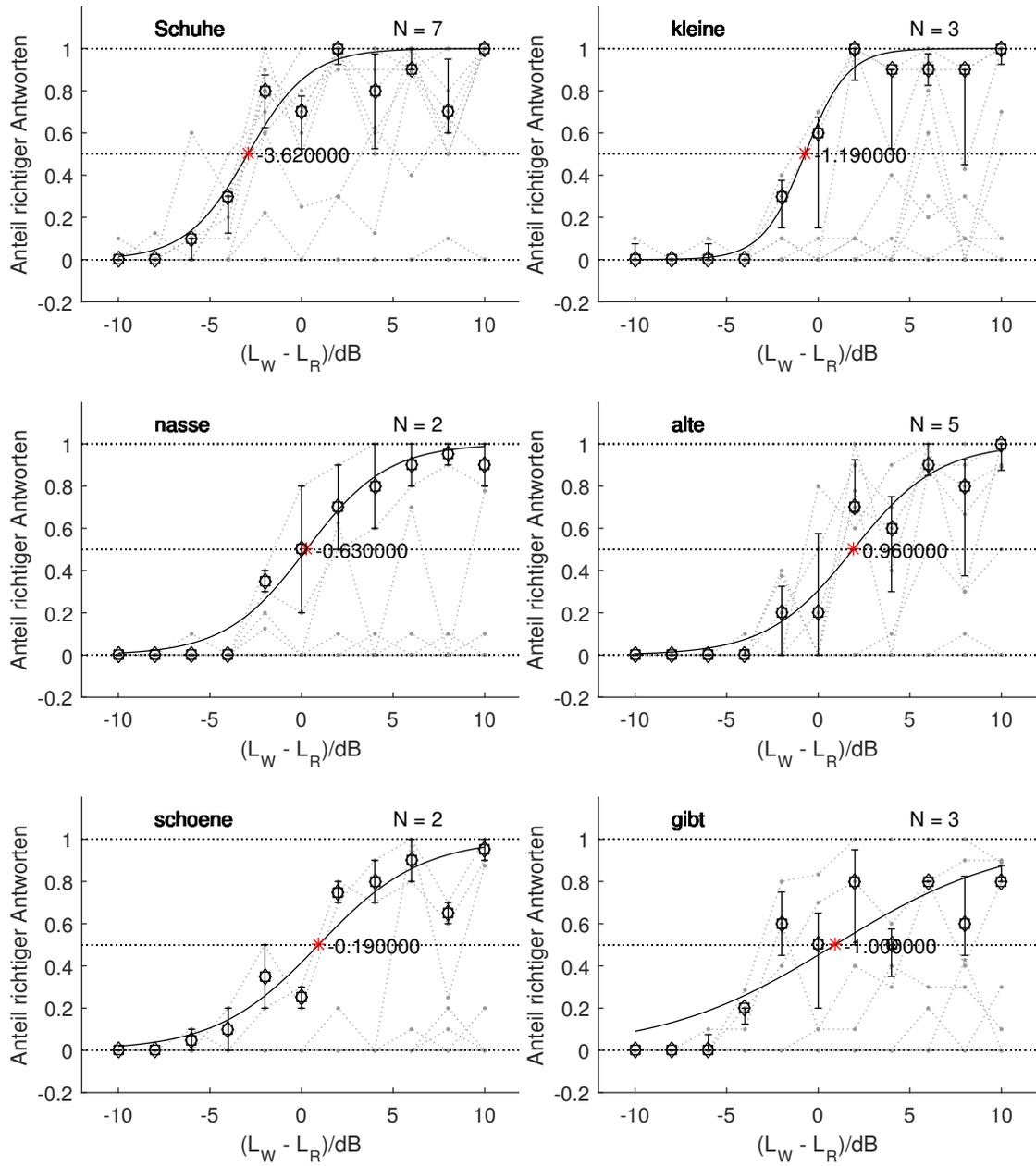


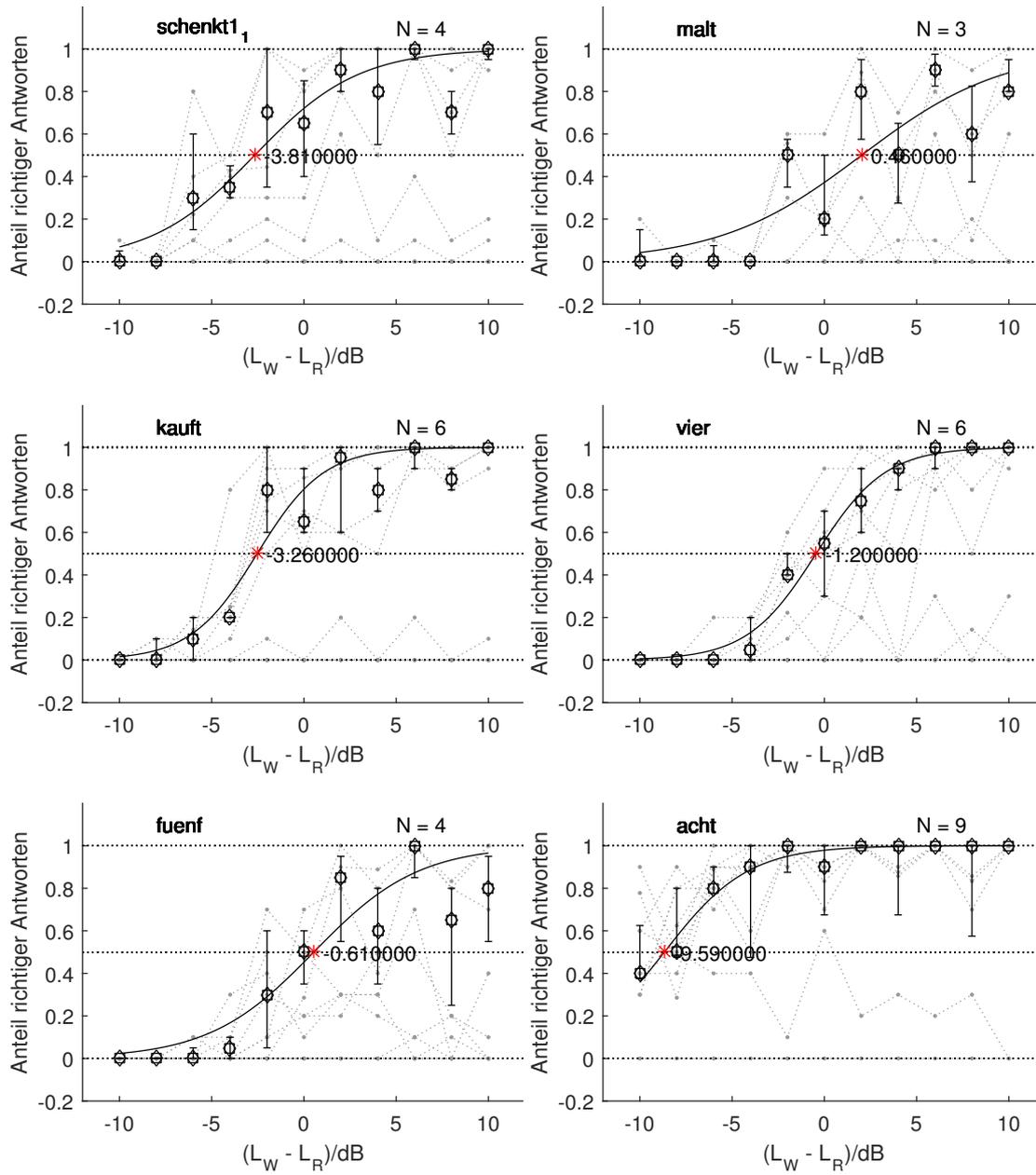
D.5 Korrigierte psychometrische Funktionen der CI-Träger

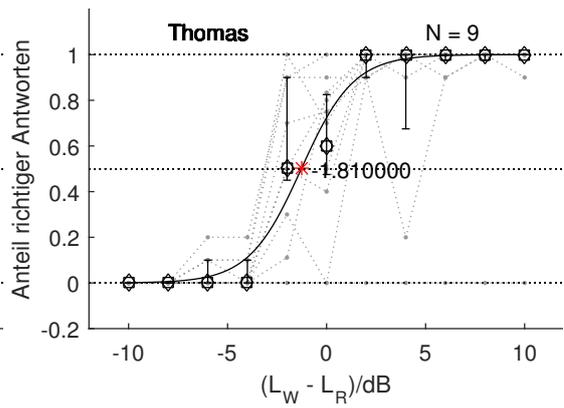
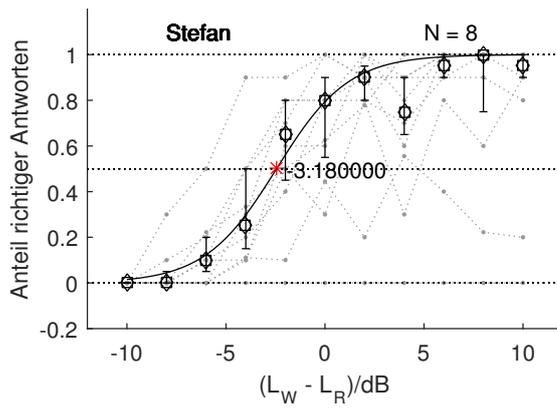
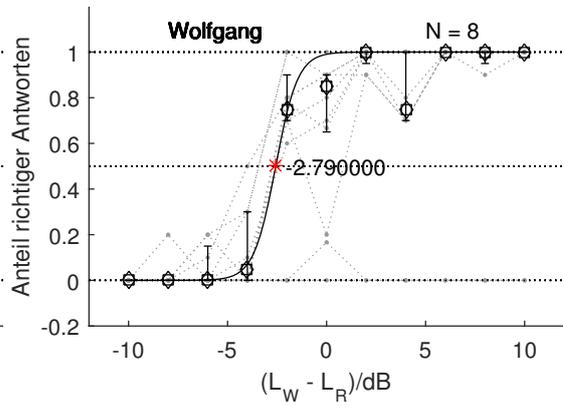
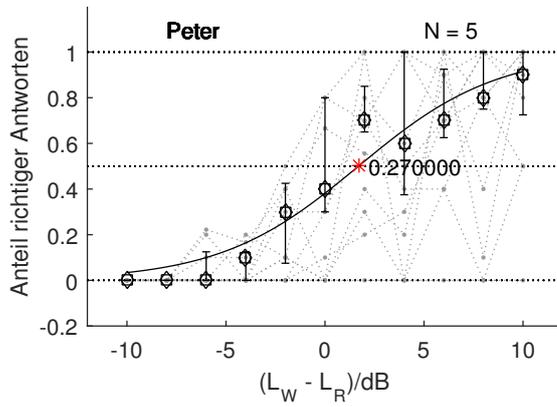
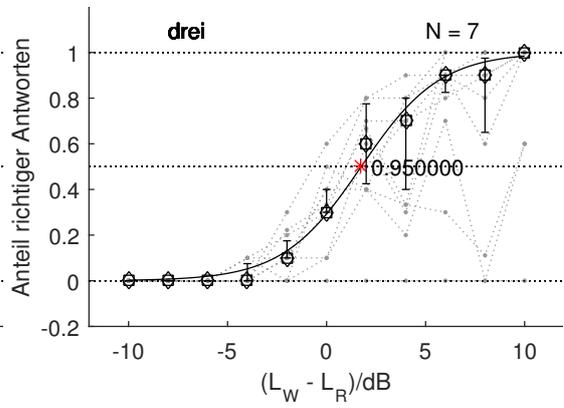
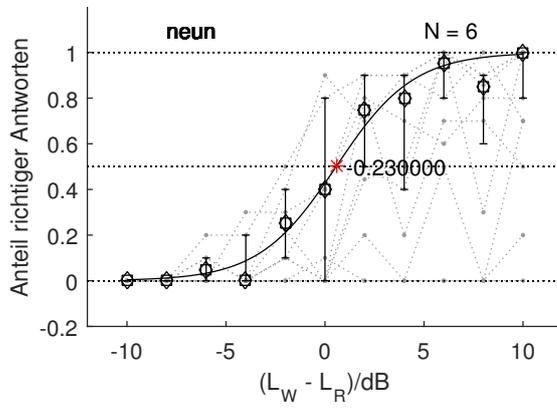
D.5.1 OLSA-Wörter

Die Abbildungen zeigen die Einzelergebnisse der CI-Träger (grau) für die Wörter des OLSAs, die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche und die wie in Kapitel 6 beschrieben ermittelten psychometrische Funktionen (schwarz). Gekennzeichnet sind die Wortverständlichkeitsschwellen L_{50} (Sternchen). Wörter, für die keine psychometrische Funktion ermittelt werden konnte, sind nicht aufgeführt.



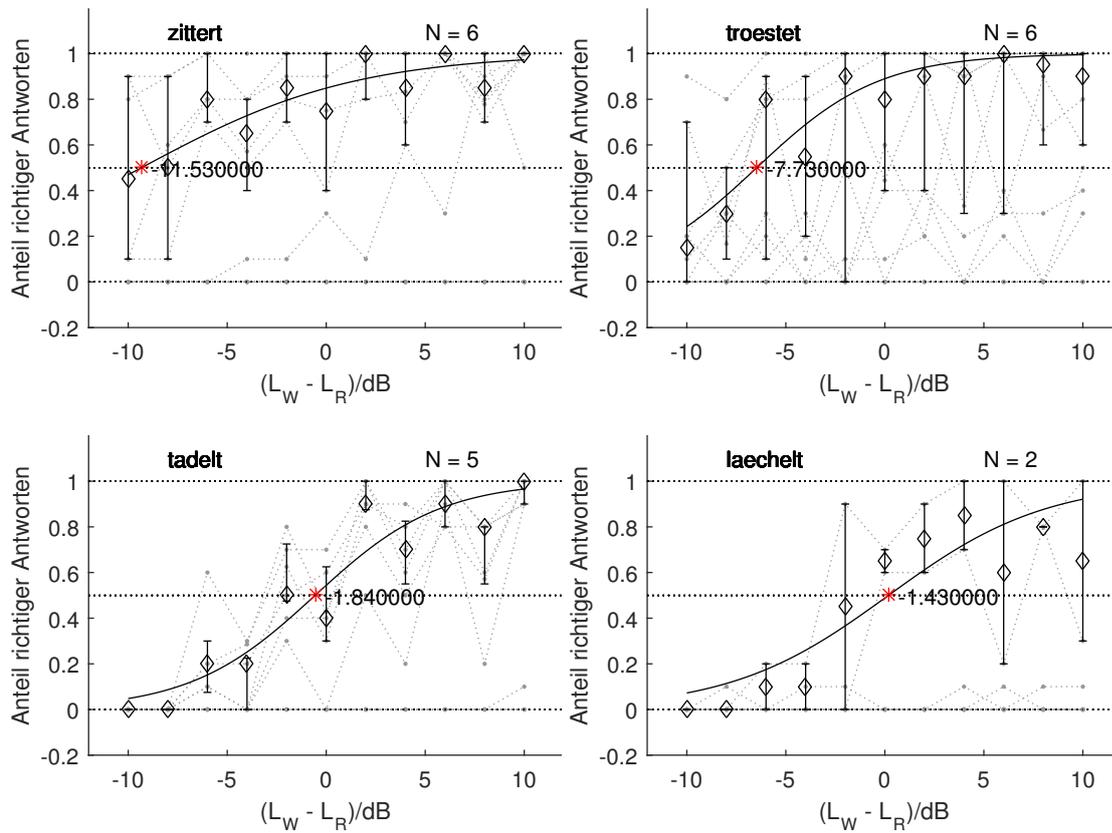


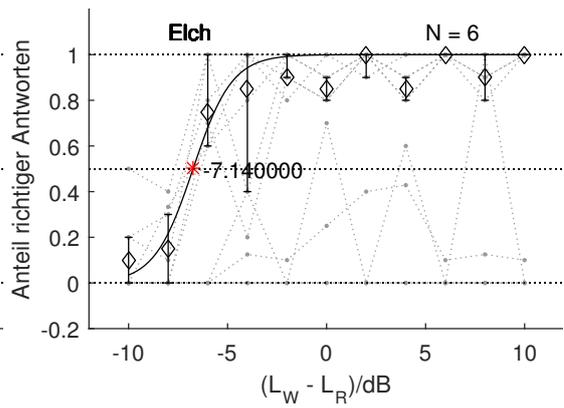
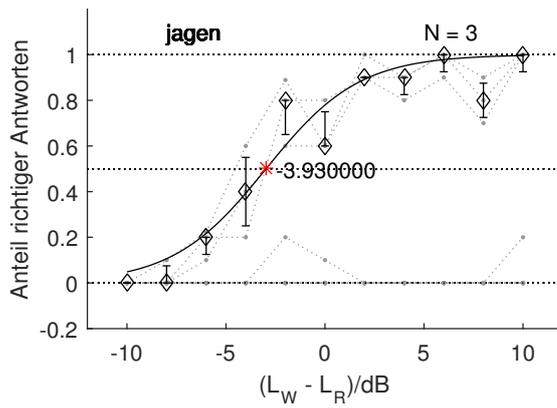
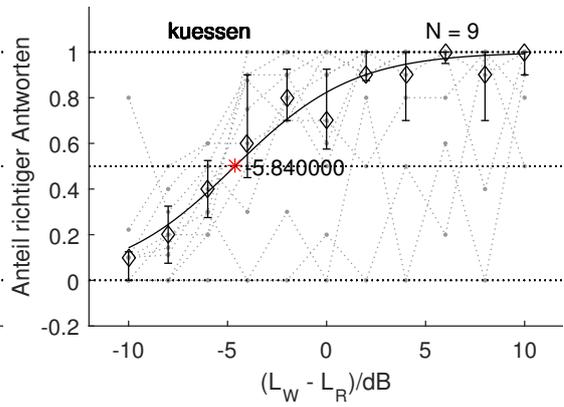
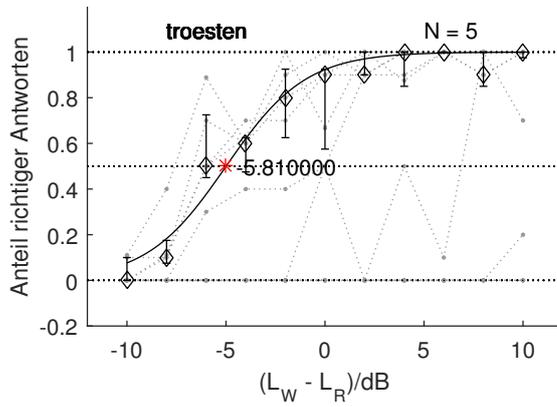
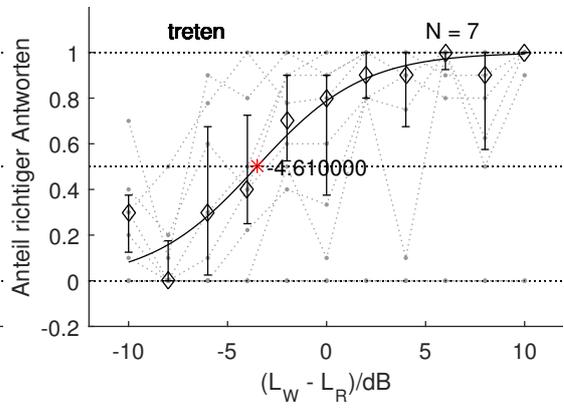
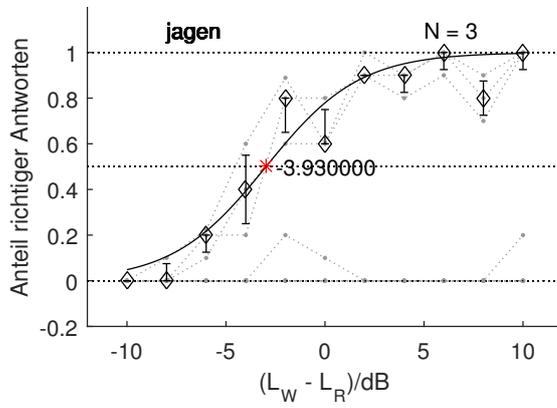


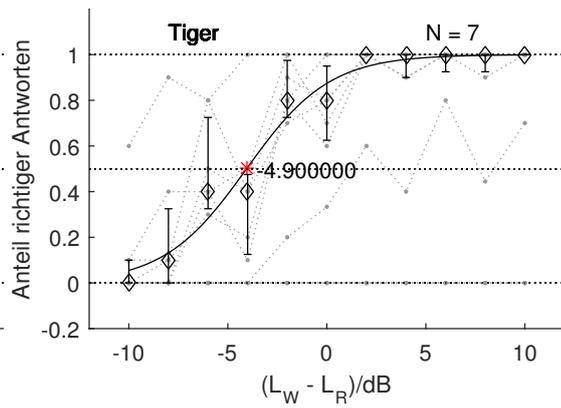
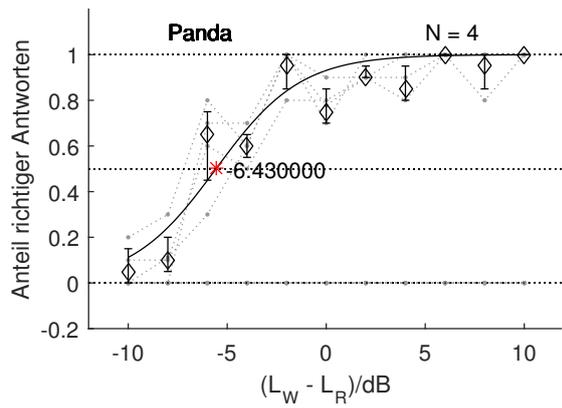
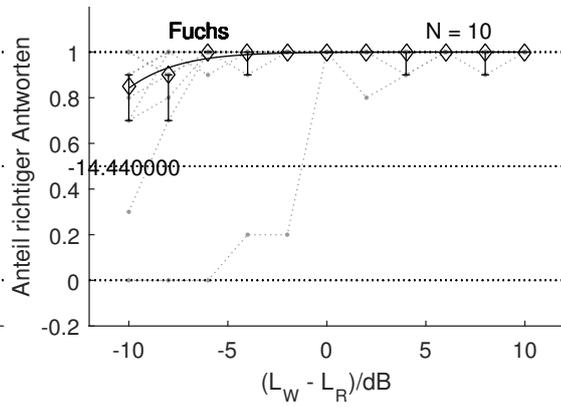
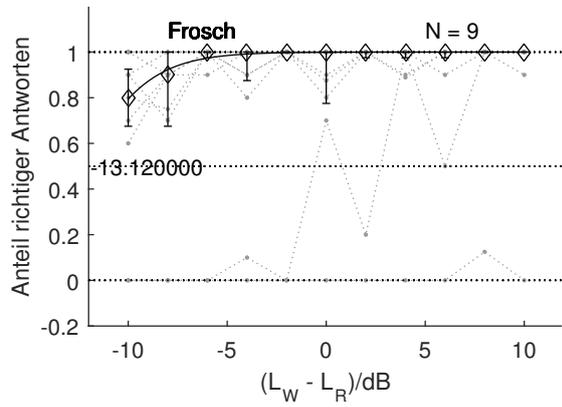
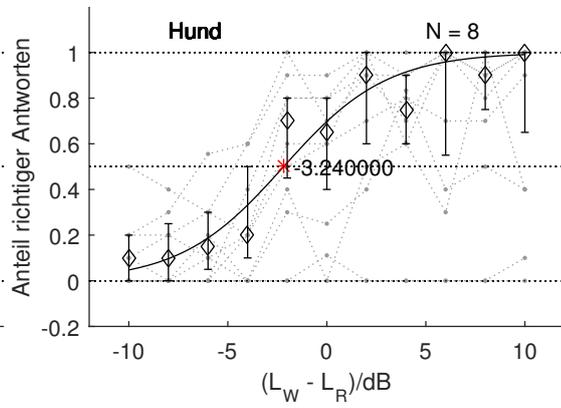
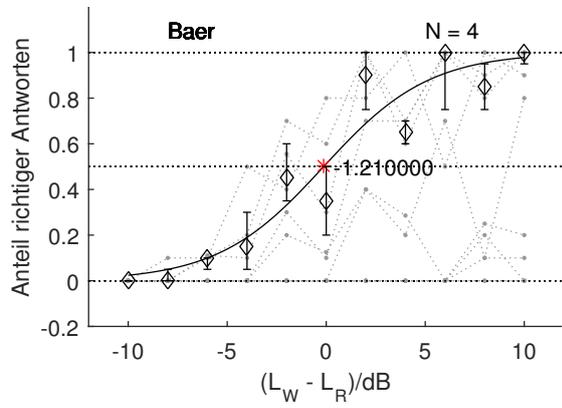


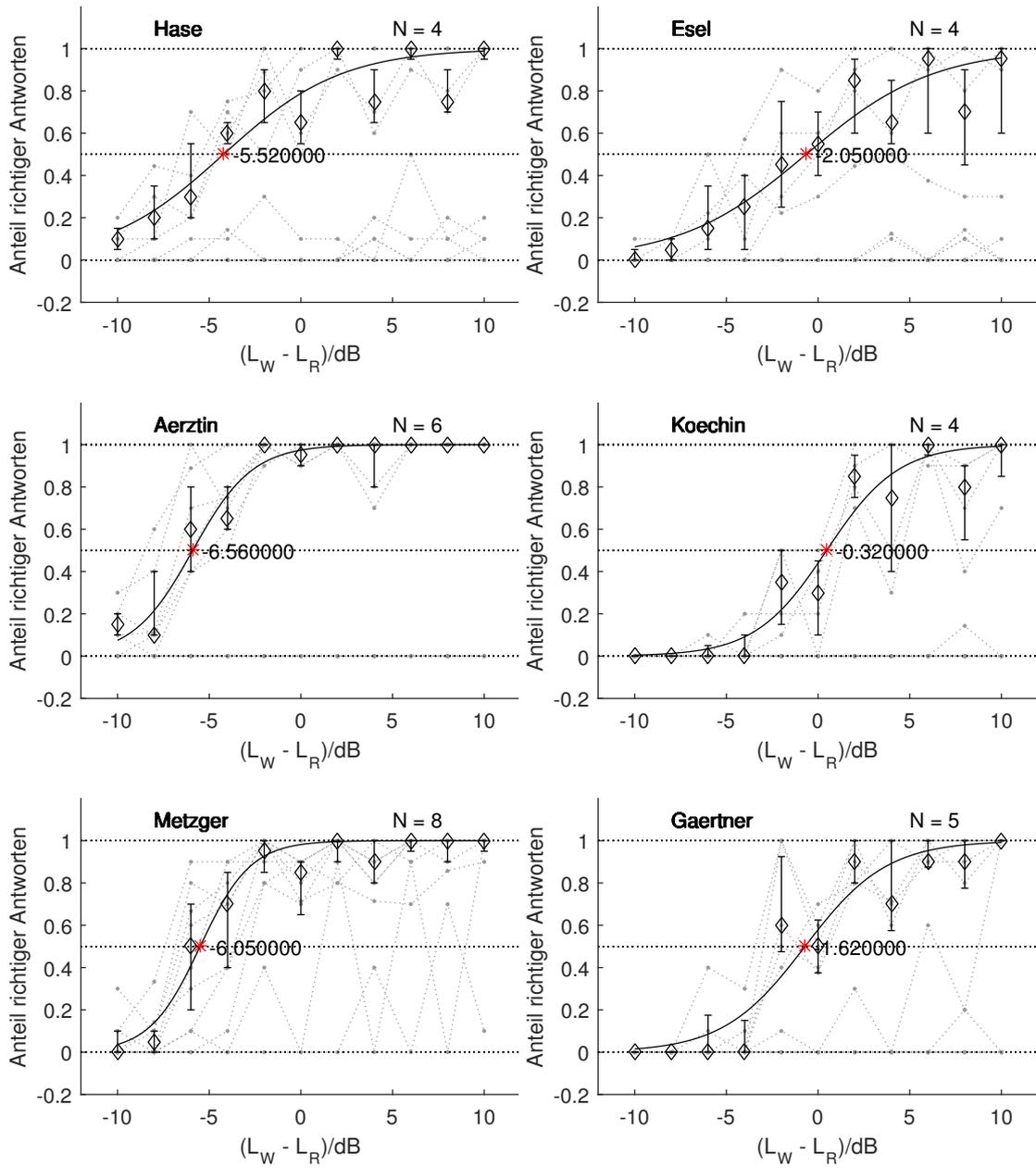
D.5.2 OlakS-Wörter

Die Abbildungen zeigen die Einzelergebnisse der CI-Träger (grau) für die Wörter des OlakS, die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche und die wie in Kapitel 6 beschrieben ermittelten psychometrische Funktionen (schwarz). Kennzeichnet sind die Wortverständlichkeitsschwellen L_{50} (Sternchen). Wörter, für die keine psychometrische Funktion ermittelt werden konnte, sind nicht aufgeführt.









Abbildungsverzeichnis

2.1	(a) Beispiel einer psychometrischen Funktion $F(x)$. Der Anteil richtiger Antworten ist über dem Stimuluslevel x aufgetragen. (b) Antworten eines Probanden, die mit der Konstanten Stimuli Methode erhalten wurden. Dabei wurde je Stützstelle der Schall „Autos“ im Störgeräusch beim entsprechenden Signal-Rausch-Abstand zehnmal präsentiert.	7
2.2	Einregelungskurve eines Probanden für die Bestimmung der Sprachverständlichkeitsschwelle mit einem adaptiven Verfahren. Der Einregelungsvorgang wird in Kap. 5 näher beschrieben. L_S steht für den Satzpegel, L_R für den Pegel des Störgeräuschs.	9
3.1	Mittelwerte der ersten beiden Formanten für die Vokale des Deutschen nach Rausch (1972) (S.78f.). Da bei Rausch (1972) keine Angaben für $/\varepsilon:/$ (E:) gemacht werden, wurden der Abbildung die Angaben für $/\varepsilon:/$ für männliche Sprecher nach Sendlmeier und Seebode (2006) ergänzt.	14
3.2	Darstellung der Sonoritätsskala und des Silbenaufbaus. Mit zunehmender Sonorität stehen die Laute näher am Silbenkern. Exemplarisch dargestellt sind die Wörter <i>Tritt</i> , <i>Amt</i> und <i>Tau</i>	16
3.3	Darstellung des Kohortenmodells am Beispiel des Zielwortes Hund $/\text{hunt}/$. In Anlehnung an Aitchison (1997), S.284, Abb. 18.3.	22

3.4	Das Logogen-Modell in der Darstellung nach Stadie (2009), S.19, Abb. 2.1 und in Anlehnung an Rickheit (2002), S. 95, Abb. 13. Gezeigt werden nur die Komponenten der auditiven Analyse des Modells. Die visuelle Analyse und damit auch die Verbindungen zwischen auditiver und visueller Analyse werden hier nicht dargestellt. Die auditive Analyse beim Nachsprechen eines Wortes beginnt im auditiven Input-Buffer. Von dort aus gibt es zwei Möglichkeiten der Verarbeitung. Ein Weg führt direkt über die auditiv-phonologische Konversion (APK) zum phonologischen Output-Buffer. Der andere Weg führt über das phonologische Input-Lexikon. Entweder kann direkt nach dem Abrufen von Informationen über die Wortform auf das phonologische Output-Lexikon zugegriffen werden, um Informationen für die Produktion zu aktivieren. Oder es wird die semantische Information des Wortes im semantischen System aktiviert. Die letzte Station ist schließlich der phonologische Output-Buffer, in dem das zu produzierende Wort vor dem Nachsprechen kurz gehalten wird.	24
4.1	a) Das Histogramm zeigt die absoluten Häufigkeiten der Sätze mit $N = 8, 9, 10$ Silben pro OLSA-Liste. Jeder Balken steht für eine OLSA-Liste. b) Deskriptive Statistik (Median und Interquartilbereich) der Silbenanzahlen pro Satz über alle Listen.	41
4.2	Die Verteilung der Silben, die im Sprachmaterial des OLSAs verwendet werden. Gezeigt ist die relative Anzahl der Wörter, in denen die Silben vorkommen, zum einen in der Celex-Wortform-Datenbank (nach Hofmann et al. (2007) $N_{gesamt} = 407.676$ Wörter) und zum anderen die relative Anzahl der Wörter, in denen die Silben im OLSA vorkommen ($N_{gesamt} = 50$).	42
5.1	(a) Abhängigkeit des Pegels des folgenden Satzes von der Anzahl richtig verstandener Wörter bei der Standardmethode des OLSAs. (b) Dargestellt ist der Einregelungsvorgang eines normalhörenden Probanden, d.h. die Entwicklung des SNR (gebildet aus der Differenz des Satzpegels und des Pegels des Rauschsignals) über der Satznummer, in der Reihenfolge, in der die Sätze abgespielt wurden. Die Satzverständlichkeitsschwelle (Median der letzten 21 Sätze) des Probanden ist aufgetragen. Zusätzlich zu sehen sind die mittleren Satzverständlichkeitsschwellen beider Probandengruppen mit Interquartilbereichen.	50

5.2	Boxplots für die Satzverständlichkeitsschwellen (SVS) für die Probandengruppe der neun Normalhörenden für die unterschiedlichen Bedingungen $S\delta tN0$. δt gibt an, mit welcher Zeitverzögerung in μs der Sprachstimulus auf einem Kopfhörerkanal eingespielt wurde. Eine niedrige Satzverständlichkeitsschwelle entspricht einer hohen Verständlichkeit. Die Ergebnisse zeigen, dass die Probanden von einer größeren Zeitverzögerung profitieren. Zudem sind die Ergebnisse für das Fastl-Rauschen sehr viel besser (niedrigere Satzverständlichkeitsschwelle) als für die restlichen Bedingungen.	52
5.3	Boxplots für die Anteile korrekter Antworten der Probanden in % für jede der gemessenen Bedingungen getrennt nach Wortarten / Position. Für die Berechnung der in der Darstellung gezeigten Werte gehen die letzten 21 der insgesamt 30 Sätze der OLSA-Liste ein. Die SNRs dieser Sätze werden auch für die Berechnung der Satzverständlichkeitsschwelle herangezogen.	54
5.4	(a) Anteile korrekter Antworten in % für die Wortarten / Positionen der Bedingung mit der besten Satzverständlichkeitsschwelle (S0N0) und (b) der schlechtesten Satzverständlichkeitsschwelle (Fastl).	55
5.5	(a) Abweichungen der Wortpegel (L_W) vom jeweiligen Satzpegel (L_S). Gezeigt sind für beide Probandengruppen die mittleren Differenzen ($L_W - L_S$) und die Interquartilbereiche für die Sätze, die auch in die Berechnung der Satzverständlichkeitsschwelle eingehen. (b) Prognostizierte Wortverständlichkeitsschwellen aufgrund der Pegeldifferenzen der Wortpegel vom Satzpegel $L_W - L_S$. Diese erhält man durch die Korrektur der mittleren Satzverständlichkeitsschwelle um die jeweiligen mittleren Pegeldifferenzen der Wortarten: $(L_S - L_R) + (L_W - L_S) = L_W - L_R$, wobei L_R für den Pegel des Rauschsignals steht. Hiermit erhält man eine Vorhersage für die Wortverständlichkeitsschwellen aufgrund der Pegeldifferenzen. Aufgetragen sind die Vorhersagen für die Probandengruppe der CI-Träger und für die Probandengruppe der Normalhörenden.	57

5.6	Berechnung der psychometrischen Funktion über die Bildung von relativen Häufigkeiten. Hier ist die Herleitung für die gesamte Probandengruppe der Normalhörenden für die Wortart „Name“ dargestellt. Zunächst werden die absoluten Häufigkeiten der präsentierten Wörter für die ermittelten Wort-SNRs pro dB gebildet. Die tatsächlichen Wort-SNRs werden über die jeweilige Pegeldifferenz des Wortes zum Satzpegel und des Satz-SNRs ermittelt. Danach wird der Anteil der richtig verstandenen Wörter pro dB bestimmt. Über die Bildung der relativen Häufigkeiten (schwarz) und das Filtern der Daten über ein 5 dB-Fenster wird eine psychometrische Funktion angenähert.	58
5.7	Zusammenfassung der Ergebnisse beider Probandengruppen. Gezeigt sind die geschätzten Wortverständlichkeitsschwellen durch die psychometrischen Funktionen (●, ○), die prognostizierten Schwellen aus den Pegeldifferenzen (◆, ◇) und der Median und die Interquartilbereiche der Histogramme aller präsentierten Pegel (blau). Die Schwellen durch die Schätzung der psychometrischen Funktionen konnten nicht immer ermittelt werden und sind daher bei Satz, Zahlwort und Nomen der CI-Träger und Nomen der Normalhörenden auch nicht dargestellt.	59
6.1	Versuchsaufbau	63
6.2	(a) L_{50} - Werte der Wörter des OLSA und des OlakS und die dazugehörigen Interquartilbereiche für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den L_{50} -Werten der Wörter des OLSA und OlakS für die Probandengruppe der Normalhörenden und für die Probandengruppe der CI-Träger. (b) Steigungen im Punkt $x = L_{50}$ der Einzelwörter der Wörter des OLSA und des OlakS und die dazugehörigen Interquartilbereiche für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Steigungen der Wörter des OLSAs und des OlakSs, weder für die Probandengruppe der Normalhörenden noch für die Probandengruppe der CI-Träger.	66
6.3	(a) Anteil korrekter Antworten von Normalhörenden und CI-Trägern. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane. Die Ergebnisse der CI-Träger sind zudem unterteilt in die Kodierungsstrategien FS4 und FSP. (b) Anteil korrekter Antworten unterteilt in Wörter des OLSAs und des OlakSs.	70

6.4	Anteil korrekter Antworten für jedes Wort. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die Interquartilbereiche mit Median für jedes Wort für (a) die Probandengruppe der Normalhörenden, (b) die Probandengruppe der CI-Träger, (c) die Probandengruppen der CI-Träger mit unterschiedlichen Kodierungsstrategien (grün: FSP, rot: FS4). Die Wörter wurden aufsteigend nach dem Anteil korrekter Antworten angeordnet.	72
6.5	Anteil korrekter Antworten für jeden Probanden, getrennt nach (a) Normalhörenden und (b) CI-Trägern (rot: FS4, grün: FSP). Dargestellt sind die Anteile korrekter Antworten jedes Probanden bei den einzelnen Wörtern und die Interquartilbereiche mit Median für jeden Probanden. Die Ergebnisse sind nach den Medianen der Anteile korrekter Antworten der Probanden angeordnet.	74
6.6	Anteil korrekter Antworten für die Wörter, aufgeteilt nach (a) Silbenanzahl, (b) dominierende Konsonantengruppe pro Wort und (c) Vokal der betonten Silbe. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane für die Probandengruppe der Normalhörenden und die Probandengruppe der CI-Träger. Die Ergebnisse der CI-Träger sind zudem unterteilt in die Ergebnisse für die Probandengruppen mit der Kodierungsstrategie FS4 und FSP. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Normalhörenden. Die Untersuchung mit einem Kruskal-Wallis-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen Ein- und Zweisilbern für die Probandengruppe der Normalhörenden und für die Probandengruppe der CI-Träger und einen signifikanten Unterschied für die Konsonanten und die Vokale.	76
6.7	Sonoritätsverlauf am Beispiel des Wortes „Wolfgang“. Auf der Ordinate ist die Zuordnung der Laute zum Sonoritätsindex nach Clements (1990) aufgetragen, die Abszisse zeigt die Abfolge der Laute. Gekennzeichnet sind die Bereiche für Silbenonset, -nukleus und -koda. Die blau gestrichelte Linie zeigt die Silbengrenze an.	78

6.8	<p>Median und Interquartilbereiche der mittleren Sonoritätsindizes für die Verständlichkeitsränge 1-18, 9-36, 37-54. Für die der Darstellung zu grunde liegenden Daten wurden die Rangplätze 1-54 aus Abbildung 6.4 in drei gleich große Gruppen geteilt. Die Ergebnisse sind sowohl für die Gruppe der Normalhörenden als auch für die der CI-Träger gezeigt. Die CI-Träger zeigen einen linearen Zusammenhang zwischen der Verständlichkeit und der Kenngröße der Wörter: Je größer der mittlere Sonoritätsindex, umso schlechter werden die Wörter verstanden. Die Normalhörenden zeigen keinen Unterschied zwischen mittlerer Verständlichkeit und schlechter Verständlichkeit und dem mittleren Sonoritätsindex. Hier findet sich eher eine Zweiteilung der Daten, zwischen gut verständlichen und den nicht gut verständlichen Wörtern.</p>	80
6.9	<p>Anteil korrekter Antworten, getrennt nach semantischen Eigenschaften. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane für die Probandengruppe der Normalhörenden und die Probandengruppe der CI-Träger. Die Ergebnisse der CI-Träger sind zudem unterteilt in die Ergebnisse für die Probandengruppen mit der Kodierungsstrategie FS4 und FSP. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Normalhörenden. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Normalhörenden.</p>	81
7.1	<p>Anteil korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche. Die Ergebnisse der CI-Träger sind zudem unterteilt in die Probandengruppe mit den Kodierungsstrategien FS4 und FSP. Zu sehen ist sowohl die Auswertung, wenn ein Wort unabhängig von der wiedergegebenen Position richtig verstanden wurde (links), als auch, wenn das richtig verstandene Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde (rechts).</p>	98
7.2	<p>Anteil korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, getrennt nach Wörtern aus dem OLSA und dem OlakS. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche. (a) Das Wort wurde unabhängig von der wiedergegebenen Position richtig wiedergegeben, (b) das richtig verstandene Wort wurde an der richtigen Position wiedergegeben.</p>	99

- 7.3 Anteil korrekter Antworten unabhängig von der Position für jedes Wort. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die Interquartilbereiche mit Median für jedes Wort für (a) die Probandengruppe der Normalhörenden, (b) die Probandengruppe der CI-Träger. Die Wörter wurden aufsteigend nach dem Anteil korrekter Antworten angeordnet. 100
- 7.4 Anteil korrekter Antworten für jedes Wort, wenn es an der richtigen Position wiedergegeben wurde. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die Interquartilbereiche mit Median für jedes Wort für (a) die Probandengruppe der Normalhörenden, (b) die Probandengruppe der CI-Träger. Die Wörter wurden aufsteigend nach dem Anteil korrekter Antworten angeordnet. 101
- 7.5 Anteil korrekter Antworten, aufgeteilt nach (a) Silbenanzahl, (b) dominierender Konsonantengruppe pro Wort und (c) Vokal der betonten Silbe. Gezeigt sind die Anteile korrekter Antworten für richtig wiedergegebene Wörter. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane für die Probandengruppe der Normalhörenden und die Probandengruppe der CI-Träger. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Probandengruppe der Normalhörenden. Die Untersuchung mit einem Kruskal-Wallis Test ergab keine signifikanten Unterschiede. 103
- 7.6 Anteil korrekter Antworten, aufgeteilt nach (a) Silbenanzahl, (b) dominierender Konsonantengruppe pro Wort und (c) Vokal der betonten Silbe. Gezeigt sind die Anteile korrekter Antworten für an der richtigen Position wiedergegebene Wörter. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane für die Probandengruppe der Normalhörenden und die Probandengruppe der CI-Träger. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Probandengruppe der Normalhörenden. Die Untersuchung mit einem Kruskal-Wallis Test ergab keine signifikanten Unterschiede. 104

- 7.7 Anteil korrekter Antworten bei richtig verstandenem Wort (a) und bei an richtiger Position wiedergegebenem Wort (b), aufgeteilt nach den semantischen Gruppen. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane für die Probandengruppe der Normalhörenden und die Probandengruppe der CI-Träger. Geordnet wurden die Ergebnisse nach den Ergebnissen der Normalhörenden. Die Untersuchung mit einem Kruskal-Wallis Test und anschließendem Post-hoc Test Mann-Whitney U ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Zahlen und den Verben bei den CI-Trägern bei Wiedergabe an der richtigen Position. 106
- 7.8 Anteil korrekter Antworten für Position 1-5 für die Probandengruppe der Normalhörenden ((a),(c)) und die Probandengruppe der CI-Träger ((b),(d)). Gezeigt sind die Ergebnisse für jeden Probanden und die daraus resultierenden Interquartilbereiche und Mediane. Zu sehen ist sowohl die Auswertung, wenn ein Wort unabhängig von der wiedergegebenen Position richtig verstanden wurde ((a),(b)), als auch, wenn das richtig verstandene Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde ((c),(d)). 110
- 7.9 Die Differenzen der Anteile der korrekten Antworten für die Positionen 2,3,4 und 5 zu Position 1. Gezeigt sind sowohl die Ergebnisse für die einzelnen Probanden, als auch der Median (schwarz bzw. blau), jeweils getrennt für die Probandengruppe der Normalhörenden ((a),(c)) und der CI-Träger ((b),(d)). Dargestellt sind sowohl die Ergebnisse, wenn ein Wort richtig verstanden wurde ((a),(b)), als auch, wenn ein richtig verstandenes Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde ((c),(d)). 111
- 7.10 Anteil korrekter Antworten für Position 1, die zusammengefassten Positionen (2,3,4) und für Position 5. Gezeigt sind sowohl die Ergebnisse der einzelnen Probanden und der Median für die Probandengruppe der Normalhörenden ((a),(c)) und der CI-Träger ((b),(d)). Die Positionen 2,3 und 4 wurden zusammengefasst, um den Unterschied zwischen erster und letzter Position besser erkennen zu können. Dargestellt sind sowohl die Ergebnisse, wenn ein Wort richtig verstanden wurde ((a),(b)), als auch, wenn ein richtig verstandenes Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde ((c),(d)). . . . 112

7.11	Die Differenzen der Anteile der korrekten Antworten für die zusammengefassten Positionen 2,3,4 zu Position 1, zu zusammengefassten Positionen 2,3,4 und zu Position 5. Gezeigt sind sowohl die Ergebnisse für die einzelnen Probanden (gestrichelt), als auch der Median (durchgezogen), jeweils getrennt für die Probandengruppe der Normalhörenden ((a),(c)) und der CI-Träger ((b),(d)). Dargestellt sind sowohl die Ergebnisse, wenn ein Wort richtig verstanden wurde ((a),(b)), als auch, wenn ein richtig verstandenes Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde ((c),(d)).	113
7.12	Mediane und Interquartilbereiche der Differenzen der Anteile korrekter Antworten für die Position 1 zu den zusammengefassten Positionen (2,3,4) und für die Position 5 zu den zusammengefassten Positionen (2,3,4). Dargestellt sind sowohl die Ergebnisse, wenn ein Wort richtig verstanden wurde (a), als auch, wenn ein richtig verstandenes Wort an der richtigen Position wiedergegeben wurde (b). Die Ergebnisse sind jeweils getrennt für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger aufgetragen.	114
7.13	Mediane und Interquartilbereiche der Differenz von Position 1 zu den zusammengefassten Positionen (2,3,4) und der Differenz von Position 5 zu den zusammengefassten Positionen (2,3,4). Die Ergebnisse sind jeweils getrennt für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger aufgetragen, aufgeteilt nach semantischen Listen.	115
8.1	Anteil korrekter Antworten für die zehn in die Auswertung eingeflossenen Sätze. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden der Gruppe der Normalhörenden und der Gruppe der CI-Träger und die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche. . .	123
8.2	Anteil korrekter Antworten für die Wörter, aufgeteilt nach (a) Silbeanzahl, (b) dominierender Konsonantengruppe pro Wort, (c) Vokal der betonten Silbe. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Die Ergebnisse sind nach den Ergebnissen der Normalhörenden absteigend geordnet.	124
8.3	Anteil korrekter Antworten für die Wörter, aufgeteilt nach semantischen Unterschieden. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und die daraus resultierenden Mediane und Interquartilbereiche für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Die Ergebnisse sind nach den Ergebnissen der Normalhörenden absteigend geordnet.	127

8.4	(a) Anteil korrekter Antworten der Probandengruppe der Normalhörenden. In die Auswertung einbezogen wurden jeweils die Messungen bei -25 dB SNR. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und der daraus resultierende Median. Dies waren jeweils 10 Sätze des OLSA-Materials mit unterschiedlichem Störgeräusch. Das Störgeräusch war zum einen das Fastl-Rauschen, zum anderen ein männlicher Störsprecher und ein weiblicher Störsprecher. (b) Anteil korrekter Antworten der Probandengruppe der CI-Träger für die Messungen bei 0 dB SNR. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Probanden und der daraus resultierende Median.	128
A.1	Hörschwellen der normalhörenden Probanden, die an den Experimenten in Kap. 6 und 7 teilgenommen haben.	136

Tabellenverzeichnis

4.1	Eine Auswahl von Sprachverständlichkeitstests im Deutschen, geordnet nach der getesteten sprachlichen Ebene, beginnend bei der Lautebene bis hin zur Satzebene. Aufgeführt ist das jeweils für die Auswahl der Sprachstimuli genutzte Korpus.	32
4.1	Eine Auswahl von Sprachverständlichkeitstests im Deutschen, geordnet nach der getesteten sprachlichen Ebene, beginnend bei der Lautebene bis hin zur Satzebene. Aufgeführt ist das jeweils für die Auswahl der Sprachstimuli genutzte Korpus.	33
4.1	Eine Auswahl von Sprachverständlichkeitstests im Deutschen, geordnet nach der getesteten sprachlichen Ebene, beginnend bei der Lautebene bis hin zur Satzebene. Aufgeführt ist das jeweils für die Auswahl der Sprachstimuli genutzte Korpus.	34
4.2	Zeitlich aufsteigend gelistet sind Werke, denen statistische Angaben zu Merkmalen der deutschen Sprache entnommen werden können. Jeweils aufgeführt sind Autoren, Jahr, Vorgehen (falls genannt) und die der jeweiligen Auswertung zugrunde liegenden Sprachdaten und Anmerkungen.	35
4.2	Zeitlich aufsteigend gelistet sind Werke, denen statistische Angaben zu Merkmalen der deutschen Sprache entnommen werden können. Jeweils aufgeführt sind Autoren, Jahr, Vorgehen (falls genannt) und die der jeweiligen Auswertung zugrunde liegenden Sprachdaten und Anmerkungen.	36
4.2	Zeitlich aufsteigend gelistet sind Werke, denen statistische Angaben zu Merkmalen der deutschen Sprache entnommen werden können. Jeweils aufgeführt sind Autoren, Jahr, Vorgehen (falls genannt) und die der jeweiligen Auswertung zugrunde liegenden Sprachdaten und Anmerkungen.	37

4.3	Beispielhafte Darstellung der möglichen Silbenanzahlen von Sätzen mit den Wörtern des OLSA-Materials. Unter den Wörtern ist die dazugehörige Silbenanzahl genannt. Fett gedruckt sind die betonten Silben der jeweiligen Sätze. Das Betonungsmuster ändert sich je nach Silbenanzahl im Satz. Aufgeführt ist zusätzlich auch die Anzahl der Sätze mit der jeweiligen Silbenanzahl in Liste 10. Die Anzahl der Sätze mit unterschiedlichen Silbenanzahlen unterscheiden sich.	40
4.4	Phrasenaufteilung eines OLSA-Satzes	43
4.5	Listenplätze der im OLSA verwendeten Vornamen im Jahr 2014 nach Angaben der GfdS - Gesellschaft für deutsche Sprache e.V. Wiesbaden (2015). Der Einschätzung der Gesellschaft nach könnten die Namen <i>Kerstin</i> , <i>Tanja</i> , <i>Ulrich</i> , <i>Britta</i> , <i>Wolfgang</i> und <i>Doris</i> mittlerweile als etwas altmodisch empfunden werden. Des weiteren sind die Jahre angegeben, in denen die Vornamen laut (Bielefeld, 2015) sehr häufig vergeben wurden.	45
4.6	Die Angaben zu den im OLSA verwendeten Wörtern hinsichtlich ihres Vorkommens in der deutschen Sprache. Ausgewertet wurden das Forschungs- und Lehrkopos für gesprochenes Deutsch (FOLK) mittels der DGD, CELEX und DeReWo. Angaben für das FOLK geben die relative Häufigkeit des jeweiligen Tokens pro 1.292.204 Tokens an. Ergebnisse wurden mit der Tokensuche ermittelt. Die Werte der CELEX-Datenbank geben die logarithmierten Werte der Worthäufigkeiten pro 1 Million Wörter an (0-6) für die Mannheimer Wortform Datenbank (MannSLog Wordform). Auf diese Weise werden Unterschiede zwischen kleinen Vorkommenshäufigkeiten stärker gewichtet als genauso kleine Unterschiede bei hohen Vorkommenshäufigkeiten. Die Werte der DeReWo beziehen sich jeweils auf Infinitive und Nominativ Singular. Die Werte N geben an, dass das entsprechende Wort 2^{-N} mal seltener vorkommt als die häufigsten Wörter <i>der</i> , <i>die</i> , <i>das</i>	46

4.6	Die Angaben zu den im OLSA verwendeten Wörtern hinsichtlich ihres Vorkommens in der deutschen Sprache. Ausgewertet wurden das Forschungs- und Lehrkopos für gesprochenes Deutsch (FOLK) mittels der DGD, CELEX und DeReWo. Angaben für das FOLK geben die relative Häufigkeit des jeweiligen Tokens pro 1.292.204 Tokens an. Ergebnisse wurden mit der Tokensuche ermittelt. Die Werte der CELEX-Datenbank geben die logarithmierten Werte der Worthäufigkeiten pro 1 Million Wörter an (0-6) für die Mannheimer Wortform Datenbank (MannSLog Wordform). Auf diese Weise werden Unterschiede zwischen kleinen Vorkommenshäufigkeiten stärker gewichtet als genauso kleine Unterschiede bei hohen Vorkommenshäufigkeiten. Die Werte der DeReWo beziehen sich jeweils auf Infinitive und Nominativ Singular. Die Werte N geben an, dass das entsprechende Wort 2^{-N} mal seltener vorkommt als die häufigsten Wörter <i>der, die, das</i>	47
6.1	Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der L_{50} -Werte und der Steigungen für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach Wörtern des OLSA und OlakS (vgl. Abb 6.2). ** zeigen hochsignifikante Ergebnisse auf einem Signifikanzniveau von $p = 0,01$ mit dem Mann Whitney U Test an.	65
6.2	Die ermittelten L_{50} -Werte in dB SNR (gerundet auf eine Nachkommastelle) und die Steigung m an der Stelle $y = 0,5$ für die Wörter des OLSA für die Probandengruppe der NH. Die Wörter sind vom niedrigsten (besten) zum höchsten L_{50} -Wert absteigend angeordnet.	68
6.3	Die Steigung m an der Stelle $y = 0,5$ für die Wörter des OLSA für die Probandengruppe der NH und die ermittelten L_{50} -Werte in dB SNR (gerundet auf eine Nachkommastelle). Die Wörter sind von der höchsten zur niedrigsten Steigung absteigend angeordnet.	68
6.4	Die ermittelten L_{50} -Werte in dB SNR (gerundet auf eine Nachkommastelle) und die Steigung m an der Stelle $y = 0,5$ der Wörter des OlakS für die Probandengruppe der NH. Die Wörter sind vom niedrigsten (besten) zum höchsten L_{50} -Wert absteigend angeordnet.	69
6.5	Die Steigung m an der Stelle $y = 0,5$ der Wörter des OlakS für die Probandengruppe der NH und die ermittelten L_{50} -Werte in dB SNR (gerundet auf eine Nachkommastelle). Die Wörter sind von der höchsten zur niedrigsten Steigung absteigend angeordnet.	69

6.6	Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger (vgl. Abb. 6.3(a)). Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach Wörtern des OLSA und OlakS (vgl. Abb. 6.3(b)). * zeigen signifikante Unterschiede auf einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ mit einem Mann-Whitney U Test zwischen den Probandengruppen an.	71
6.7	Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach der Silbenanzahl (vgl. Abb. 6.6(a)). +, ** zeigen signifikante bzw. hochsignifikante Ergebnisse auf einem Signifikanzniveau von $p = 0,10$ und $p = 0,01$ an.	77
6.8	Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach den das Wort dominierende Konsonanten (vgl. Abb. 6.6(b)). * geben signifikante Unterschiede mit dem Mann-Whitney U Test auf einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ an.	77
6.9	Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach den Vokalen der betonten Silbe (vgl. Abb. 6.6(c)).	78
6.10	Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile korrekter Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger, aufgeteilt nach semantischen Eigenschaften der Wörter (vgl. Abb. 6.9). * geben einen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe der Adjektive und der entsprechenden anderen Gruppe mit dem Mann-Whitney U Test und der Bonferoni-Korrektur des Signifikanzniveau von 5% an.	82
7.1	Übersicht über Angaben zur Sprechgeschwindigkeit in der Literatur. Für die Erstellung der Listen fand die Orientierung an den Angaben für das Deutsche, an den Angaben zu den OLSA-Sätzen, den Angaben zu den OlakS-Sätzen und dem Lesen von Listen statt.	95
7.2	Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) der Anteile richtiger Antworten für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Jeweils aufgelistet sind die Ergebnisse für richtig wiedergegebene Wörter unabhängig von der Position (Wort richtig) und an der richtigen Position wiedergegebene Wörter für alle Wörter zusammen. Ebenfalls aufgelistet sind die Ergebnisse für die OLSA- und OlakS-Wörter.	97

7.3	Quartile ($Q_{0,25}$, Median, $Q_{0,75}$) für die Probandengruppe der Normalhörenden und der CI-Träger. Angegeben ist die Differenz von Position 1 zu der zusammengefassten Position (2,3,4) und von Position 5 zu der zusammengefassten Position (2,3,4). * kennzeichnen signifikant von Null verschiedene Ergebnisse mit einem Wilcoxon Test.	108
A.1	Informationen zu den normalhörenden Probanden, die an den Experimenten teilgenommen haben. Anmerkung: Proband 1 und 2 führten das Experiment in Kap. 6 durch. Beim Experiment in Kap. 7 nahm Proband 1 nicht teil.	135
A.1	Informationen zu den normalhörenden Probanden, die an den Experimenten teilgenommen haben. Anmerkung: Proband 1 und 2 führten das Experiment in Kap. 6 durch. Beim Experiment in Kap. 7 nahm Proband 1 nicht teil.	136
A.2	Informationen zu den CI-Trägern, die an den Experimenten teilgenommen haben.	137
C.1	Die für das in Kapitel 7 beschriebene Experiment verwendeten Listen. Aufgeführt sind die 17 Listen, die Permutationen der Wörter sind hier nicht aufgeführt. Die Reihenfolge der Wörter änderte sich nicht.	143

Literaturverzeichnis

- Acharya, S. und Das Mandal, S. K. (2012). Occurrence and duration modeling of sentence medial pause for bangla text reading at different speech rates. In *Speech Database and Assessments (Oriental COCOSDA), 2012 International Conference on*, S. 62 – 67.
- Aitchison, J. (1997). *Wörter im Kopf: Eine Einführung in das mentale Lexikon*, Band: 56 von *Konzepte der Sprach- und Literaturwissenschaft*. Tübingen: Niemeyer. Aus dem Engl. übers.
- Akeroyd, M. A. (2008). Are individual differences in speech reception related to individual differences in cognitive ability? a survey of twenty experimental studies with normal and hearing-impaired adults. *Int J Audiol*, 47 Suppl 2:S53–S71.
- Alloway, T. und Gathercole, S. (2005). Working memory and short-term sentence recall in young children. *European Journal of cognitive psychology*, 17(2):207–220.
- Altmann, G. (1993). *Glottometrika 14*, Kap. Phoneme Counts, S. 54 – 68. Trier: Wissenschaftlicher Verlag Trier.
- Altmann, G. T. M. (2001). The language machine: Psycholinguistics in review. *Br J Psychol*, 92 Part 1:129 – 170.
- Amano-Kusumoto, A. und Hosom, J. (2011). A review on speech intelligibility and correlations with acoustic features. Technical report, Center for Spoken Language Understanding (CSLU), Department of Biomedical Engineering, Oregon Health & Science University (OHSU).
- Amitay, S., Irwin, A., Hawkey, D. J. C., Cowan, J. A. und Moore, D. R. (2006). A comparison of adaptive procedures for rapid and reliable threshold assessment and training in naive listeners. *J Acoust Soc Am*, 119(3):1616 – 1625.

- Asleh, L. und Best, K.-H. (2004/2005). Zur Überprüfung des Menzerath-Altmann-Gesetzes am Beispiel deutscher (und italienischer) Wörter. *Göttinger Beiträge zur Sprachwissenschaft*, 10/11:9 – 19.
- Baayen, R., Piepenbrock, R. und Gulikers, L. (1995). *The CELEX Lexical Database (CD-ROM)*. Linguistic Data Consortium. Philadelphia: University of Pennsylvania. PA.
- Baddeley, A., Thomson, N. und Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Learning Behavior*, 14:575 – 589.
- Balota, D. und Chumbley, J. (1984). Are lexical decisions a good measure of lexical access? The role of word frequency in the neglected decision stage. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 10:340 – 357.
- Banbury, S. P., Macken, W. J., Tremblay, S. und Jones, D. M. (2001). Auditory distraction and short-term memory: phenomena and practical implications. *Hum Factors*, 43(1):12 – 29.
- Baumgärtel, R. M., Hu, H., Krawczyk-Becker, M., Marquardt, D., Herzke, T., Coleman, G., Adiloglu, K., Bomke, K., Plotz, K., Gerkmann, T., Doclo, S., Kollmeier, B., Hohmann, V. und Dietz, M. (2015). Comparing binaural pre-processing strategies ii: Speech intelligibility of bilateral cochlear implant users. *Trends in Hearing*, 19:1 – 18.
- Bayerischer Cochlea Implantat Verband e.V. (2015). Bayciv. <http://www.bayciv.de/Erfahrungen/articles/ohren-zu-vorjag-auf.html>. Letzter Zugriff: 03.05.16.
- Benassi, A., Gödde, V. und Richter, K. (2012). *BIWOS - Bielefelder Wortfindungsscreening für leichte Aphasien*. Hofheim: NAT-Verlag.
- Best, K.-H. (1997). *Glottometrika 16. The distribution of word and sentence length*, Band: 58 von *Quantitative Linguistics*, Kap. Zur Wortartenhäufigkeit in Texten deutscher Kurzprosa der Gegenwart, S. 276 – 285. Trier: Wissenschaftlicher Verlag Trier.
- Best, K.-H. (2005). Laut- und Phonemhäufigkeiten im Deutschen. *Göttinger Beiträge zur Sprachwissenschaft*, 10/11:21 – 32.
- Best, K.-H. (2006). Wortlängen im Deutschen. *Göttinger Beiträge zur Sprachwissenschaft*, 13:23–49.

- Bezold, F. (1897). *Über die funktionelle Prüfung des menschlichen Gehörorgans: gesammelte Abhandlungen und Vorträge*, Band: 1. Wiesbaden: Bergmann.
- Bi, J. und Ennis, D. (1998). Sensory thresholds: Concepts and methods. *J Sens Stud*, 13:133 – 148.
- Bielefeld, K. (2015). Beliebte Vornamen * Hitlisten 1890 bis 2015: <http://www.beliebte-vornamen.de/> Letzter Zugriff: 06.07.2015.
- Bilger, R. C., Matthies, M. L., Meyer, T. A. und Griffiths, S. K. (1998). Psychometric equivalence of recorded spondaic words as test items. *J Speech Lang Hear Res*, 41(3):516 – 526.
- Blumbach, J. (1966). *Marburger Satzverständnistest*. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin der hohen Medizinischen Fakultät der Philipps-Universität Marburg, Philipps-Universität Marburg.
- Bortz, J. und Lienert, G. (2008). *Kurzgefasste Statistik für die Klinische Forschung*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 3. Auflage.
- Bortz, J. und Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaften*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 7. Auflage.
- Broschart, J. (1997). Why tongan does it differently: Categorical distinctions in a language without nouns and verbs. *Linguistic topology*, 1:123–165.
- Brown, C. A. und Bacon, S. P. (2010). Fundamental frequency and speech intelligibility in background noise. *Hear Res*, 266(1-2):52–59.
- Burkholder, R. (2005). Perceptual learning of speech processed through an acoustic simulation of a cochlear implant. Technical Report 13, Speech Research Laboratory, Department of Psychological and Brain Sciences, Indiana University.
- Burkholder, R. A., Pisoni, D. B. und Svirsky, M. A. (2005). Effects of a cochlear implant simulation on immediate memory in normal-hearing adults. *Int J Audiol*, 44(10):551 – 558.
- Butterworth, B., Shallice, T. und Watson, F. (1990). *Neuropsychological impairments of short-term memory*, Kap. Short-term retention without short-term memory., S. 187 – 213. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Bußmann, H., Hrsg. (2008). *Lexikon der Sprachwissenschaft*. Stuttgart: Alfred Kröner Verlag, 4., durchges. und bibliogr. erg. Auflage. / unter Mitarb. von Hartmut Lauffer.

- Byrne, D., Dillon, H., Tran, K., Arlinger, S., Wilbraham, K., Cox, R., Hagerman, B., Hetu, R., Kei, J., Lui, C., Kiessling, J., Kotby, M., Nasser, N. H. A., El Kholy, W. A. H., Nakanishi, Y., Oyer, H., Powell, R., Stephens, D., Meredith, R. und Sirimanna, T. (1994). An international comparison of long-term average speech spectra. *J Acoust Soc Am*, 96(4):2108 – 2120.
- Carroll, R. (2013a). *Effects of Syntactic Complexity and Prosody on Sentence Processing in Noise*. Dissertation, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Carroll, R., R. E. (2013b). The effects of syntactic complexity on processing sentences in noise. *J Psycholinguist Res*, 42:139 – 159.
- Chen, F. und Loizou, P. C. (2011). Predicting the intelligibility of vocoded and wideband mandarin chinese. *J Acoust Soc Am*, 129(5):3281 – 3290.
- Chen, F., Wong, L. und Wong, E. (2013). Assessing the perceptual contributions of vowels and consonants to mandarin sentence intelligibility. *J Acoust Soc Am*, 134(2):EL 177 – EL 184.
- Churchill, T. H., Kan, A., Goupell, M. J., Ihlefeld, A. und Litovsky, R. Y. (2014a). Speech perception in noise with a harmonic complex excited vocoder. *J Assoc Res Otolaryngol*, 15(2):265 – 278.
- Churchill, T. H., Kan, A., Goupell, M. J. und Litovsky, R. Y. (2014b). Spatial hearing benefits demonstrated with presentation of acoustic temporal fine structure cues in bilateral cochlear implant listeners. *J Acoust Soc Am*, 136(3):1246.
- Clements, G. (1990). *The role of the sonority cycle in core syllabification.*, Kap. Papers in laboratory phonology I: between grammar and physics of speech., S. 283 – 333. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cole, R., Yan, Y., Mak, B., Fanty, M. und Bailey, T. (1996). The contribution of consonants versus vowels to word recognition in fluent speech. *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, S. 853 – 856.
- Culling, J., Jelfs, S., Talbert, A., Grange, J. und Backhouse, S. (2012). The benefit of bilateral versus unilateral cochlear implantation to speech intelligibility in noise. *Ear Hear*, 33(6):673 – 682.
- Culling, J. F., Hawley, M. L. und Litovsky, R. Y. (2004). The role of head-induced interaural time and level differences in the speech reception threshold for multiple interfering sound sources. *J Acoust Soc Am*, 116(2):1057 – 1065.

- Davis, J. (1967). Auditory search for syllables embedded within meaningful sentences. *J Acoust Soc Am*, 41(5):1277 – 1282.
- de Bleser, R., Cholewa, J., Stadie, N. und Tabatabaie, S. (2004). *LEMO - Lexikon modellorientiert. Einzelfalldiagnostik bei Aphasie, Dyslexie und Dysgraphie*. Number 1 – 6. München: Urban & Fischer Verlag / Elsevier GmbH.
- Donaldson, G. und Kreft, H. (2006). Effects of vowel context on the recognition of initial and medial consonants by cochlear implant users. *Ear Hear*, 27(6):658 – 677.
- Donaldson, G. S., Rogers, C. L., Cardenas, E. S., Russell, B. A. und Hanna, N. H. (2013). Vowel identification by cochlear implant users: contributions of static and dynamic spectral cues. *J Acoust Soc Am*, 134(4):3021 – 3028.
- Donaldson, G. S., Rogers, C. L., Johnson, L. B. und Oh, S. H. (2015). Vowel identification by cochlear implant users: Contributions of duration cues and dynamic spectral cues. *J Acoust Soc Am*, 138(1):65 – 73.
- Dorman, M. und Raphael, L. (1980). Distribution of acoustic cues for stop consonant place of articulation in vcv syllables. *J Acoust Soc Am*, 67(4):1333 – 1335.
- Dos Santos Sequeira, S., Specht, K., Hämäläinen, H. und Hugdahl, K. (2008). The effects of background noise on dichotic listening to consonant-vowel syllables. *Brain Lang*, 107(1):11 – 15.
- Dudenredaktion, Hrsg. (2005). *Duden - Die Grammatik - Unentbehrlich für richtiges Deutsch*. Number 4. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Dudenverlag, 7., völlig neu erarbeitete und erweiterte Auflage.
- Ehlich, K. (2007). *Handbuch der deutschen Wortarten*, Kap. Zur Geschichte der Wortarten. Berlin: de Gruyter.
- Engelkamp, J. und Rummer, R. (1999). Syntaktische Struktur und Wortlänge im Satzrecall. *Z Exp Psychol*, 46(1):1 – 15.
- Fahrmeir, L., Künstler, R., Pigeot, I. und Tutz, G. (2011). *Statistik. Der Weg zur Datenanalyse*. Heidelberg: Springer.
- Fastl, H. (1987). A background noise for speech audiometry. *Audiol Akoustik*, 26:2/13.

- Faulkner, A., Rosen, S. und Smith, C. (2000). Effects of the salience of pitch and periodicity information on the intelligibility of four-channel vocoded speech: Implications for cochlear implants. *J Acoust Soc Am*, 108(4):1877 – 1887.
- Feldmann, H. (2004). 200 Jahre Hörprüfungen mit Sprache, 50 Jahre deutsche Sprachaudiometrie - ein Rückblick. 200 years testing hearing disorders with speech, 50 years german speech audiometry - a review. *Laryng. Rhinol. Otol.*, 83:735–742.
- Fischer, R. (2009). *Linguistik für Sprachtherapeuten. Eine praxisorientierte Einführung*, Band: 1. Köln: ProLog Therapie - und Lernmittel OHG.
- Fogerty, D. und Humes, L. E. (2012). The role of vowel and consonant fundamental frequency, envelope, and temporal fine structure cues to the intelligibility of words and sentences. *J Acoust Soc Am*, 131(2):1490 – 1501.
- Fogerty, D. und Kewley-Port, D. (2009). Perceptual contributions of the consonant-vowel boundary to sentence intelligibility. *J Acoust Soc Am*, 126(2):847 – 857.
- Friesen, L. M., Shannon, R., Baskent, D. und Wang, X. (2001). Speech recognition in noise as a function of the number of spectral channels: Comparison of acoustic hearing and cochlear implants. *J Acoust Soc Am*, 110(2):1150 – 1163.
- Fu, Q.-J. und Shannon, R. (1999a). Effect of acoustic dynamic range on phoneme recognition in quiet and noise by cochlear implant users. *J Acoust Soc Am*, 106(6):L65 – L70.
- Fu, Q.-J. und Shannon, R. (1999b). Phoneme recognition by cochlear implant users as a function of signal-to-noise ratio and nonlinear amplitude mapping. *J Acoust Soc Am*, 106(2):L18 – L23.
- Fu, Q. J. und Shannon, R. V. (1999c). Recognition of spectrally degraded and frequency-shifted vowels in acoustic and electric hearing. *J Acoust Soc Am*, 105(3):1889–1900.
- Fucks, W. (1968). *Nach allen Regeln der Kunst. Diagnosen über Literatur, Musik, bildende Kunst - Die Werke, ihre Autoren und Schöpfer*. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt.
- Garadat, S. N., Litovsky, R. Y., Yu, G. und Zeng, F.-G. (2009). Role of binaural hearing in speech intelligibility and spatial release from masking using vocoded speech. *J Acoust Soc Am*, 126(5):2522 – 2535.

- Gelfand, S. A., Piper, N. und Silman, S. (1986). Consonant recognition in quiet and in noise with aging among normal hearing listeners. *J Acoust Soc Am*, 80(6):1589 – 1598.
- Gerhand, S. und Barry, C. (1999). Age of acquisition, word frequency, and the role of phonology in the lexical decision task. *Mem Cognit*, 27(4):592 – 602.
- GfdS - Gesellschaft für deutsche Sprache e. V. Wiesbaden (2016). Sprach- und Vornamenberatung der GfdS. <http://gfdS.de/ausfuehrliche-auswertung-die-beliebtesten-vornamen-2014/> Letzter Zugriff: 04/16.
- GfdS - Gesellschaft für deutsche Sprache e.V. Wiesbaden (2015). Sprach- und Vornamenberatung der GfdS. Emailkommunikation mit Rüdibusch, F.
- Godfrey, J. (1984). Linguistic structure in clinical and experimental tests of speech recognition. *ASHA Reports Series (American Speech-Language-Hearing Association)*, 14:52 – 56.
- Grimm, H. und Engelkamp, J., (Hrsg.) (1981). *Sprachpsychologie: Handbuch und Lexikon der Psycholinguistik*. Number 1. Berlin: Schmidt.
- Gustafsson, H. A. und Arlinger, S. D. (1994). Masking of speech by amplitude-modulated noise. *J Acoust Soc Am*, 95(1):518 – 529.
- Hagermann, B. (1982). Sentences for testing speech intelligibility in noise. *Scand Audiol*, 11:79 – 87.
- Hagermann, B. und Kinnefors, C. (1995). Efficient adaptive methods for measuring speech reception threshold in quiet and in noise. *Scand Audiol*, 24:71 – 77.
- Hahlbrock, K.-H. (1953). Über Sprachaudiometrie und neue Wörtertete. *Archiv Ohr- usw. Heilk. u Z. Hals- usw. Heilk.*, 162:394 – 431.
- Hahlbrock, K.-H. (1954). Klinische Erfahrungen mit der Sprachaudiometrie. *Archiv Ohr- usw. Heilk. u Z. Hals- usw. Heilk.*, 165:314 – 326.
- Hawley, M. L., Litovsky, R. Y. und Colburn, H. S. (1999). Speech intelligibility and localization in a multi-source environment. *J Acoust Soc Am*, 105(6):3436 – 3448.
- Hirsch-Wierzbicka, L. (1971). *Funktionelle Belastung und Phonemkombination*. Number 38 in IPK Forschungsberichte. Hamburg: Buske.
- Hochmair-Desoyer, I., Schulz, E., Moser, L. und Schmidt, M. (1997). The hsm sentence test as a tool for evaluating the speech understanding in noise of cochlear implant users. *Am J Otol*, 18(6 Supplement):S83.

- Hoffmann, L. (2007a). *Handbuch der deutschen Wortarten*, Band: de-Gruyter-Lexikon, Kap. Einleitung: Wortarten, S. 1 – 18. Berlin: de Gruyter.
- Hoffmann, L. (2007b). *Handbuch der deutschen Wortarten*, Band: de-Gruyter-Lexikon. Berlin: de Gruyter.
- Hofmann, M., Steeneken, P., Conrad, M. und Jakobs, A. (2007). Sublexical frequency measures for orthographic and phonological units in German. *Behavior Research Methods*, 39(3):620–629.
- Holden, L., Finley, C., Firszt, J., Holden, T., Brenner, C., Potts, L., Gotter, B., Vanderhoof, S., Mispagel, K., Heydebrand, G. und Skinner, M. (2013). Factors affecting open-set word recognition in adults with cochlear implants. *Ear Hear*, 34(3):342 – 360.
- Holube, I. und Kollmeier, B. (1994). Beziehungen zwischen dem Einsilber-Reimtest in Ruhe und der Ton- und Sprachaudiometrie. *Audiol Akustik*, 33(2):18 – 29.
- Howard, D. (1983). *Cognitive Psychology*. New York: Macmillan Publishing Co.
- Huettig, F. und McQueen, J. (2007). The tug of war between phonological, semantic and shape information in language-mediated visual search. *J Mem Lang*, 57:460 – 482.
- Hug, M. (1979). *La distribution des phonemes en français. Die Phonemverteilung im Deutschen. etudess statistiques.*, Band: 5 von *Travaux de linguistique quantitative*. Geneve: Editions Slatkine.
- Hällgren, M., Larsby, B., Lyxell, B. und Arlinger, S. (2005). Speech understanding in quiet and noise, with and without hearing aids. *Int J Audiol*, 44(10):574 – 583.
- Institut für Deutsche Sprache (IDS) (2012). DeReWo: Korpusbasierte Wortgrundformenliste DeReWo, v-ww-bll-320000g-2012-12-31-1.0, mit Benutzerdokumentation, Release vom 29.02.2012. <http://www.ids-mannheim.de/derewo> Letzter Zugriff: 08/2015.
- Institut für Deutsche Sprache (IDS) (2015a). DeReKo: deutsches Referenz-Korpus, <http://www.ids-mannheim.de/cosmas2/web-app/> Letzter Zugriff: 09/2015.
- Institut für Deutsche Sprache (IDS) (2015b). DGD: Datenbank für Gesprochenes Deutsch, <http://dgd.ids-mannheim.de> Letzter Zugriff: 08/2015.

- International Telecommunication Union (1988, 1993). International analogue carrier systems: General characteristics common to all analogue carrier-transmission systems. Conventional telephone systems: ITU-T Recommendation G.227.
- Iverson, P., Smith, C. und Evans, B. (2006). Vowel recognition via cochlear implants and noise vocoders: Effects of formant movement and duration. *J Acoust Soc Am*, 120(6):3998 – 4006.
- Jakobi, H. und Ackermann, R. (1982). Erfahrungen mit dem Logatomtest nach Jakobi. Ein Vorschlag für eine internationale Sprachaudiometrie. *Laryng. Rhinol. Otol.*, 61:213 – 215.
- Jones, T. und Oberauer, K. (2013). Serial-position effects for items and relations in short-term memory. *Memory*, 21(3):347 – 365.
- Jürgens, T., Brand, T. und Kollmeier, B. (2008). Phonemerkennung in Ruhe und im Störgeräusch - Vergleich von Messung und Modellierung. 39. DGMP Tagung Oldenburg.
- Kaeding, F. (1897). *Häufigkeitswörterbuch der deutschen Sprache*. Berlin: Steglitz.
- Kalivoda, M. und Steiner, J., (Hrsg.) (1998). *Taschenbuch der Angewandten Psychoakustik*. Springer- Verlag: Wien, New York.
- Kallel, F., Laboissiere, R., Hamida, A. und Berger-Vachon, C. (2013). Influence of a shift in frequency distribution and analysis rate on phoneme intelligibility in noisy environments for simulated bilateral cochlear implants. *Applied Acoustics*, 74:10 – 17.
- Kandoorp, M., De Groot, A., Festen, J., Smits, C. und Goverts, S. (2016). The influence of lexical-access ability and vocabulary knowledge on measures of speech recognition in noise. *Int J Audiol*, 55(3):157 – 167.
- Keller, S., Hemmert, W. und Völk, F. (2016). Aspects of generating syntax-free word lists for quantifying speech intelligibility. *Proceedings of Meetings on Acoustics. 172nd Meeting. accepted.*
- Keller, S., Völk, F. und Hemmert, W. (2015). Experimente zum Zusammenhang zwischen Satz- und Wortverständlichkeit für Normalhörende und Cochlea-Implantat-Träger. *DGA-Jahrestagung 2015 in Bochum.*
- Keller, S., Wirtz, C., Beike, H. und Hemmert, W. (2014). *Proceedings of ISAAR 2013: Auditory Plasticity - Listening with the Brain. 4th Symposium on Auditory and Audiological Research. August 2013, Nyborg, Denmark*, Kap. Influence of

- memory effects in speech intelligibility tasks, S. 413 – 420. The Danavox Jubilee Foundation.
- Kerber, S. und Seeber, B. U. (2012). Sound localization in noise by normal-hearing listeners and cochlear implant users. *Ear Hear*, 33(4):445 – 457.
- Kiessling, J. (2000). Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. *Laryng. Rhinol. Otol.*, 79:633 – 635.
- Kiessling, J., Schubert, M. und Wagner, I. (1994). Sprachverständlichkeitsmessungen an Normalhörenden und Schallempfindungsschwerhörigen - fünf Sprachtests im Vergleich 1. Teil. *Audiol Akustik*, 33(1):6 – 19.
- Kjellberg, A. und Ljung, R. and Hallmann, D. (2008). Recall of words heard in noise. *Appl. Cognit. Psychol*, 22:1088 – 1098.
- Klein, S. A. (2001). Measuring, estimating, and understanding the psychometric function: a commentary. *Percept Psychophys*, 63(8):1421 – 1455.
- Klemm, E. (2002). *Einführung in die Statistik. Für die Sozialwissenschaften*. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Kliem, K. (1993). *Entwicklung und Evaluation eines Zweisilber-Reimtestverfahrens in deutscher Sprache zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit in der klinischen Audiologie und Nachrichtentechnik*. Dissertation, Oldenburg, Univ.
- Kliem, K. und Kollmeier, B. (1994). Entwicklung und Evaluation eines Zweisilber-Reimtestverfahrens für die deutsche Sprachaudiometrie. *Audiol Akustik*, 33:4 – 14.
- Knobloch, C. (2003). *Psycholinguistik: Ein internationales Handbuch. Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft (HSK) 24*, Kap. Geschichte der Psycholinguistik, S. 15 – 33. Number 2. Berlin, New York: de Gruyter.
- Kollmeier, B., Sotschek, J. und Kammermeier, A. (1988). Digitalaufnahme eines Reimtests in deutscher Sprache. *Audiol Akustik*, 27:24 – 28.
- Kollmeier, B. und Wesselkamp, M. (1997). Development and evaluation of a German sentence test for objective and subjective speech intelligibility assessment. *J Acoust Soc Am*, 102(4):2412 – 2421.
- Krause, J. (2002). *Der Adjektivgebrauch bei Aphasien*, Band: Klinische Linguistik. LIT Verlag Münster – Hamburg – London.

- Laback, B. und Majdak, P. (2008). Binaural jitter improves interaural time-difference sensitivity of cochlear implantees at high pulse rates. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 105(2):814 – 817.
- Laback, B., Zimmermann, I., Majdak, P., Baumgartner, W.-D. und Pok, S.-M. (2011). Effects of envelope shape on interaural envelope delay sensitivity in acoustic and electric hearing. *J Acoust Soc Am*, 130(3):1515 – 1529.
- Lai, W. K., Bögli, H. und Dillier, N. (2003). A software tool for analyzing multichannel cochlear implant signals. *Ear Hear*, 24(5):380 – 391.
- Laneau, J., Moonen, M. und Wouters, J. (2006). Factors affecting the use of noise-band vocoders as acoustic models for pitch perception in cochlear implants. *J Acoust Soc Am*, 119(1):491 – 506.
- Larsby, B., Hällgren, M., Lyxell, B. und Arlinger, S. (2005). Cognitive performance and perceived effort in speech processing tasks: effects of different noise backgrounds in normal-hearing and hearing-impaired subjects. *Int J Audiol*, 44(3):131–143.
- Lehmann, C. (1992). *Deutsche Syntax: Ansichten und Aussichten*, Kap. Deutsche Prädikatklassen in topologischer Sicht, S. S. 155 – 185. Berlin, New York: de Gruyter.
- Leiss, E. (2002). *Lexikologie. Ein internationales Handbuch zur Natur und Struktur von Wörtern und Wortschätzen. XVII. Die Architektur des Wortschatzes I: Die Wortarten. 2. Halbband*, Kap. : Die Wortart Verb, S. 605–616. Berlin, New York: de Gruyter.
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J Acoust Soc Am*, 49(2):Suppl 2:467+.
- Levitt, H. und Rabiner, L. R. (1967). Binaural release from masking for speech and gain in intelligibility. *J Acoust Soc Am*, 42(3):601 – 608.
- Ljung, R., Israelsson, K. und Hygge, S. (2013). Speech Intelligibility and Recall of Spoken Material Heard at Different Signal-to-noise Ratios and the Role Played by Working Memory Capacity. *Appl. Cognit. Psychol*, 27:198 – 203.
- Löhler, J., Akcicek, B., Pilnik, M., Saager-Post, K., Dazert, S., Biedron, S., Oeken, J., Mürbe, D., Löbert, J., Laszig, R., Wesarg, T., Langer, C., Plontke, S., Rahne, T., Machate, U., Noppeney, R., Schultz, K., Plinkert, P., Hoth, S., Praetorius, M., Schlattmann, P., Pau, H., Ehrt, K., Hagen, R., Shehata-Dieler, W., Cebulla, M., Walther, L. und Ernst, A. (2013). Evaluation des Freiburger Einsilbertests im Störschall. *HNO*, 61:586 – 591.

- Loizou, P., Poroy, O. und Dorman, M. (2000). The effect of parametric variations of cochlear implant processors on speech understanding. *J Acoust Soc Am*, 108(2):790 – 802.
- Lutz, L. (2004). *Das Schweigen verstehen. Über Aphasie*. Berlin, Heidelberg: Springer, 3. überarbeitete Auflage.
- Mackensen, L. (1982). *Das große Buch der Vornamen*. München: Südwest Verl., 4., erw. u. überarb. aufl. Auflage.
- Majdak, P., Goupell, M. J. und Laback, B. (2010). 3-D localization of virtual sound sources: effects of visual environment, pointing method, and training. *Atten Percept Psychophys*, 72(2):454 – 469.
- Majdak, P., Goupell, M. J. und Laback, B. (2011). Two-dimensional localization of virtual sound sources in cochlear-implant listeners. *Ear Hear*, 32(2):198–208.
- Mani, N. und Plunkett, K. (2011). Phonological priming and cohort effects in toddlers. *Cognition*, 121:196 – 206.
- Marslen-Wilson, W. und Tyler, L. K. (1980). The temporal structure of spoken language understanding. *Cognition*, 8(1):1 – 71.
- Marslen-Wilson, W. und Welsh, A. (1978). Processing interactions and lexical access during word recognition in continuous speech. *Cognitive Ps*, 10:29 – 63.
- Marslen-Wilson, W. D. (1987). Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition*, 25:71–102.
- Martin, E., Roberts, K. und Collins, A. (1968). Short-term Memory for Sentences. *Journal of Verbal Learning and Learning Behavior*.
- McDermott, H. (2004). Music perception with cochlear implants: a review. *Trends Amplif*, 8(2):49 – 82.
- Meier, H. (1964). *Deutsche Sprachstatistik.*, Band: 1. Hildesheim: Georg Olms Verlagsbuchhandlung.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol Rev*, 63(2):81 – 97.
- Millianti, F. (1974). Effects of age and word frequency on object recognition and naming in children. *J Speech Hear Res*, 17:373 – 385.

- Mondini, S., Luzzatti, C., Zonca, G., Pistarini, C. und Semenza, C. (2004). The mental representation of Verb-Noun compounds in Italian: Evidence from a multiple single-case study in aphasia. *Brain Lang*, 90:470 – 477.
- Montgomery, J. W., Magimairaj, B. M. und Finney, M. C. (2010). Working memory and specific language impairment: an update on the relation and perspectives on assessment and treatment. *Am J Speech Lang Pathol*, 19(1):78 – 94.
- Müller-Deile, J. (2009). Sprachverständlichkeitsuntersuchungen bei Cochlea-implantatpatienten. *HNO*, 57:580 – 592.
- Müller-Deile, J., Schmidt, B. und Rudert, H. (1994). Kieler Erfahrungen mit der Cochlea Implantat -Versorgung. *Laryng. Rhinol. Otol.*, 73:300 – 310.
- Niemeyer, W. und Beckmann, G. (1962). Ein sprachaudiometrischer Test. *Archiv Ohr- usw. Heilk. u Z. Hals- usw. Heilk.*, 180:742 – 749.
- Nopp, P. und Polak, M. (2010). *COchlear Implants and Hearing Preservation*, Kap. From Electric Acoustic Stimulation to Improved Sound Coding in Cochlear Implants, S. 88 – 95. Basel: Karger.
- Oberauer, K. (2003). Understanding serial position curves in short-term recognition and recall. *J Mem Lang*, 49:469 – 483.
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Schulze, R., Wilhelm, O. und Wittmann, W. (2000). Working memory capacity – facets of a cognitive ability construct. *Personality and Individual Differences*, 29:1017 – 1045.
- Osherson, D. und Smith, E. (1981). On the adequacy of prototype theory as a theory of concepts. *Cognition*, 9:35 – 58.
- Parker, S. (2002). *Quantifying the sonority hierarchy*. Dissertation, Graduate School of the University of Massachusetts Amherst.
- Plomp, R. und Mimpen, A. M. (1979). Improving the reliability of testing the speech reception threshold for sentences. *Audiology*, 18(1):43 – 52.
- Polišenská, K., Chiat, S., Comer, A. und McKenzie, K. (2014). Semantic effects in sentence recall: the contribution of immediate vs delayed recall in language assessment. *J Commun Disord*, 52:65 – 77.
- Polišenská, K., Chiat, S. und Roy, P. (2015). Sentence repetition: what does the task measure? *Int J Lang Commun Disord*, 50(1):106 – 118.

- Pompino-Marschall, B. (2009). *Einführung in die Phonetik*. Berlin: de Gruyter Studienbuch, 3 Auflage.
- Qin, M. und Oxenham, A. (2003). Effects of simulated cochlear-implant processing on speech reception in fluctuating maskers. *J Acoust Soc Am*, 114:446 – 454.
- Quinn, A. und Umeda, N. (1977). Estimate of speaking rate. *J Acoust Soc Am*, 62(1):S47.
- Rader, T., Adel, Y., Baumann, U. und Fastl, H. (2012). Modellierung der Sprachperzeption bei Cochlea-Implantat-Nutzern mit rein elektrischer und elektrisch-akustischer Stimulation (EAS). *Fortschritte der Akustik, DAGA 2012*, S. 365 – 366.
- Rader, T., Schmiegelow, C., Baumann, U. und Fastl, H. (2008). Oldenburger Satztest im „Multi-Source Noise Field“ mit unterschiedlichen Modulationscharakteristika (Oldenburger sentence test in the „Multi-Source Noise Field“ with different modulation characteristics). *Fortschritte der Akustik, DAGA 2008*, S. 663 – 664 (Dt. Gesell. für Akustik e.V., Berlin, 2008).
- Rausch, A. (1972). *Beiträge zur Phonetik*, Band: Forschungsberichte des Instituts für Kommunikationsforschung und Phonetik der Universität Bonn, Kap. Untersuchungen zur Vokalartikulation im Deutschen., S. 35 – 82. Hamburg: Buske.
- Richards, B. (1987). Type/Token Ratios: what do they really tell us? *J Child Lang*, 14:201 – 209.
- Rickheit, G. (2002). *Psycholinguistik. [die Wissenschaft vom sprachlichen Verhalten und Erleben]*. Tübingen: Stauffenburg.
- Rickheit, G., Weiss, S. und Eikmeyer, H.-J. (2010). *Kognitive Linguistik. Theorien, Modelle, Methoden*. Tübingen: Francke Verlag.
- Ritterman, S. I. und Freeman, N. C. (1974). Distinctive phonetic features as relevant and irrelevant stimulus dimensions in speech-sound discrimination learning. *J Speech Hear Res*, 17(3):417 – 425.
- Rosch, E. und Mervis, C. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structures of categories. *Cognitive Psychology*, 7:573 – 605.
- Rudner, M., Rönnerberg, J. und Lunner, T. (2011). Working memory supports listening in noise for persons with hearing impairment. *J Am Acad Audiol*, 22(3):156 – 167.

- Rummer, R. und Schrobildgen, M. (2000). Phonologische Information beim kurzfristigen Behalten von Sätzen. *Z Exp Psychol*, 47(2):144 – 154.
- Schatzer, R., Krenmayr, A., Au, D., Kals, M. und Zierhofer, C. (2006). Temporal fine structure in cochlear implants: preliminary speech perception results in cantonese-speaking implant users. *Acta Otolaryngol*, 130(9):1031 – 1039.
- Schelten-Cornish, S. (2007). The significance of speaking rate in speech treatment. *Die Sprachheilarbeit*, 4:136 – 145.
- Schiel, F. (1995-2014). BAS - Bayerisches Archiv für Sprachsignale. <http://www.bas.uni-muenchen.de/bas/en/> Letzter Zugriff: 06/2015.
- Schindler, W. (2002). *Lexikologie / Lexicology. Ein internationales Handbuch zur Natur und Struktur von Wörtern und Wortschätzen.*, Kap. Lexik, Lexikon, Wortschatz: Probleme der Abgrenzung, S. 34 – 44. Berlin, New York: de Gruyter.
- Schubert, K. (1952). Über einen Sprachprüfetest für Schwerhörigengeräte. *Archiv Ohr- usw. Heilk. u Z. Hals- usw. Heilk.*, 162:67 – 84.
- Schuchardt, K. (2008). *Arbeitsgedächtnis und Lernstörungen. Differenzielle Analysen der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern mit Lernstörungen.* Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- Schukat-Talamazzini, E. (1987). *Generierung von Worthypothesen in kontinuierlicher Sprache.* Berlin, Heidelberg, New York, London, Tokyo: Springer- Verlag.
- Schwartz, A. H. und Goldman, R. (1974). Variables influencing performance on speech-sound discrimination tests. *J Speech Hear Res*, 17(1):25 – 32.
- Selkirk, E. (1984). *Language and structure: studies in phonology presented to Morris Halle by his teacher and students*, Kap. On the major class features and syllable theory, S. 107 – 136. Cambridge, Massachusetts: The MIT press.
- Sendlmeier, W. (1989a). Stimmhaft/Stimmlos-Unterscheidung initialer Plosive durch Normalhörende und Hörgestörte - 1. Teil. *Audiol Akustik*, 28(2):42 – 48.
- Sendlmeier, W. (1989b). Stimmhaft/Stimmlos-Unterscheidung initialer Plosive durch Normalhörende und Hörgestörte - 2. Teil. *Audiol Akustik*, 28(3):108 – 114.
- Sendlmeier, W. und Seebode, J. (2006). Formantkarten des deutschen Vokalsystems. https://www.kw.tu-berlin.de/fileadmin/a01311100/Formantkarten_des_deutschen_Vokalsystems_01.pdf Letzter Zugriff:08.03.2016.

- Shackleton, T. M. und Meddis, R. (1992). The role of interaural time difference and fundamental frequency difference in the identification of concurrent vowel pairs. *J Acoust Soc Am*, 91(6):3579 – 3581.
- Shannon, R., Jensvold, A., Padilla, M., Robert, M. und Wang, X. (1999). Consonant recordings for speech testing. *J Acoust Soc Am*, 106(6):L71 – L74.
- Sichelschmidt, L. (1989). *Adjektivfolgen. Eine Untersuchung zum Verstehen komplexer Nominalphrasen*, Band: Psycholinguistische Studien. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Siegler, R., DeLoache, J. und Eisenberg, N., (Hrsg.) (2005). *Entwicklungspsychologie im Kindes- und Jugendalter. Deutsche Auflage herausgegeben von Sabina Pauen*. München: Elsevier, 1 Auflage.
- Sievers, E. (1876). *Grundzüge der Lautphysiologie zur Einführung in das Studium der Lautlehre der indogermanischen Sprachen*. Number 1 in Bibliothek Indogermanischer Grammatiken. Leipzig: Breitkopf & Härtel.
- Sievers, E. (1891). *Grundriss der Germanischen Philologie*, Kap. Sprachgeschichte. 1. Phonetik, S. 283 – 319. Number 1. Strassburg: Karl.J. Trübner, zweite verbesserte und vermehrte Auflage.
- Simpson, W. und Klippert, K. (1968). Grammatical class differences in serial learning. *J Gen Psychol*, 79:183 – 189.
- Sotschek, J. (1982). Ein Reimtest für Verständlichkeitsmessungen mit deutscher Sprache als ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der Sprachübertragungsgüte. *Der Fernmelde-Ingenieur*, 36(4/5):1 – 84.
- Souza, P. und Rosen, S. (2009). Effects of envelope bandwidth on the intelligibility of sine- and noise-vocoded speech. *J Acoust Soc Am*, 126(2):792 – 805.
- Spille, C., Dietz, M., Hohmann, V. und Meyer, B. (2013). *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Kap. USING BINARUAL PROCESSING FOR AUTOMATIC SPEECH RECOGNITION IN MULTI-TALKER SCENES, S. 7805 – 7809.
- Spillmann, T. und Dillier, N. (1986). Zur prothetischen Versorgung Resthöriger und Gehörloser: Vergleichende Untersuchungen zwischen Hörgerät und Cochlea-Implantat. *Sprache – Stimme – Gehör*, 10:136 – 139.
- Stadie, N. (2009). *Kognitiv orientierte Sprachtherapie*. 1. München: Elsevier.

- Stanners, R. (1969). Grammatical organization in free recall. *J. verb. Learn. verb. Behav.*, 8:95 – 100.
- Steeneken, H. (1992). *On measuring and predicting speech intelligibility*. Dissertation, Amsterdam, Univ.
- Stenfelt, S. und Rönnerberg, J. (2009). The signal-cognition interface: interactions between degraded auditory signals and cognitive processes. *Scand J Psychol*, 50(5):385 – 393.
- Stickney, G. S., Zeng, F.-G., Litovsky, R. und Assmann, P. (2004). Cochlear implant speech recognition with speech maskers. *J Acoust Soc Am*, 116(2):1081 – 1091.
- Stilp, C. E. (2014). Information-bearing acoustic change outperforms duration in predicting intelligibility of full-spectrum and noise-vocoded sentences. *J Acoust Soc Am*, 135(3):1518 – 1529.
- Stilp, C. E. und Goupell, M. J. (2015). Spectral and temporal resolutions of information-bearing acoustic changes for understanding vocoded sentences. *J Acoust Soc Am*, 137(2):844–855.
- Stilp, C. E., Goupell, M. J. und Kluender, K. R. (2013). Speech perception in simulated electric hearing exploits information-bearing acoustic change. *J Acoust Soc Am*, 133(2):EL136 – EL141.
- Stock, A., Knoblach, W. und Heller, O. (1994). Die Bedeutung von Frikativ-Vokal-Formanttransitionen für die Verständlichkeit von Zweisilbern mit /s/-Anlaut Teil 2. *Audiol Akustik*, 33(1):21 – 24.
- Stoyneshka, I., Fodor, J. und Fernández, E. (2010). Phoneme restoration methods for investigating prosodic influences on syntactic processing. *Lang Cogn Process*, 25(7–9):1265 – 1293.
- Strand, J., Simenstad, A., Cooperman, A. und Rowe, J. (2014). Grammatical context constrains lexical competition in spoken word recognition. *Mem Cognit*, 42(4):676 – 687.
- Surprenant, A. (2007). Effects of noise on identification and serial recall of nonsense syllables in older and younger adults. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 14:126 – 143.
- Svirsky, M. A., Sagi, E., Meyer, T. A., Kaiser, A. R. und Teoh, S. W. (2011). A mathematical model of medial consonant identification by cochlear implant users. *J Acoust Soc Am*, 129(4):2191 – 2200.

- Taft, M. und Hambly, G. (1986). Exploring the cohort model of spoken word recognition. *Cognition*, 22:259 – 282.
- Traunmüller, H. und Eriksson, A. (1995). The frequency range of the voice fundamental in the speech of male and female adults. *Manuscript*, (Download 06.03.2016: <http://www2.ling.su.se/staff/hartmut/aktupub.htm>).
- Tschopp, K. und Züst, H. (1994). Performance of normally hearing and hearing-impaired listeners using a german version of the spin test. *Scand Audiol*, 23(4):241 – 247.
- Uslar, V. and Carroll, R., Wendt, D., Ruigendijk, E. und Brand, T. (2013a). Warum die Ente der Hund tadelt: Mögliche neue Wege in der Audiologie mit den „Oldenburger Linguistisch und Audiologisch Kontrollierten Sätzen“. why the duck is reprimanded by the dog: Possible new ways in audiology with the „Oldenburg Linguistically and Audiologically Controlled Sentences“. *Z Audiol*, 52(1):6 – 15.
- Uslar, V. N., Carroll, R., Hanke, M., Hamann, C., Ruigendijk, E., Brand, T. und Kollmeier, B. (2013b). Development and evaluation of a linguistically and audiolgically controlled sentence intelligibility test. *J Acoust Soc Am*, 134(4):3039–3056.
- van Hoesel, R., Böhm, M., Pesch, J., Vandali, A., Battmer, R. D. und Lenarz, T. (2008). Binaural speech unmasking and localization in noise with bilateral cochlear implants using envelope and fine-timing based strategies. *J Acoust Soc Am*, 123(4):2249 – 2263.
- van Hoesel, R. J. M. (2008). Binaural jitter with cochlear implants, improved interaural time-delay sensitivity, and normal hearing. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 105(32):E51; author reply E52.
- van Hoesel, R. J. M. (2012). Contrasting benefits from contralateral implants and hearing aids in cochlear implant users. *Hear Res*, 288(1-2):100 – 113.
- van Hoesel, R. J. M. und Tyler, R. S. (2003). Speech perception, localization, and lateralization with bilateral cochlear implants. *J Acoust Soc Am*, 113(3):1617 – 1630.
- Vasishth, S., Suckow, K., Lewis, R. und Kern, S. (2010). Short-term forgetting in sentence comprehension: Crosslinguistic evidence from verb-final structures. *Lang Cogn Process*, 25(4):533 – 567.
- Vecchi, T. und Richardson, J. Cavallini, E. (2005). Passive storage versus active processing in working memory: Evidence from age-related variations in performance. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17(4):521 – 539.

- Vennemann, T. (1988). *Preference Laws for syllable structure and the Explanation of Sound Change*. Berlin: mouton de Gruyter.
- Versfeld, N. J., Daalder, L., Festen, J. M. und Houtgast, T. (2000). Method for the selection of sentence materials for efficient measurement of the speech reception threshold. *J Acoust Soc Am*, 107(3):1671 – 1684.
- Vigliocco, G., Vinson, D., Druks, J., Barber, H. und Cappa, S. (2011). Nouns and verbs in the brain: A review of behavioural, electrophysiological, neuropsychological and imaging studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35(3):407 – 426.
- Vock, M. (2004). *Arbeitsgedächtniskapazität bei Kindern mit durchschnittlicher und hoher Intelligenz*. Dissertation, Westfälische Wilhelms-Universität zu Münster.
- Vogel, P. (2007). *Handbuch der deutschen Wortarten*, Band: de-Gruyter-Lexikon, Kap. Universalität von Wortarten, S. 95 – 114. Berlin: de Gruyter.
- von Ilberg, C., Kiefer, J., Tillein, J., Pfennigdorff, T., Hartmann, R., Stürzebecher, E. und Klinke, R. (1999). Electric-acoustic stimulation of the auditory system - new technology for severe hearing loss. *ORL*, 61:334 – 340.
- Wagener, K., Brand, T. und Kollmeier, B. (1999a). Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache. Teil I: Design des Oldenburger Satztests. Development and evaluation of a German sentence test I: Design of the Oldenburg sentence test. *Z Audiol*, 38:5 – 15.
- Wagener, K., Brand, T. und Kollmeier, B. (1999b). Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache. Teil II: Evaluation des Oldenburger Satztests. Development and evaluation of a German sentence test Part II: Evaluation of the Oldenburg sentence test. *Z Audiol*, 38(3):86 – 95.
- Wagener, K., Brand, T. und Kollmeier, B. (1999c). Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache. Teil III: Optimierung des Oldenburger Satztests. Development and evaluation of a German sentence test. Part III: Optimization of the Oldenburg sentence test. *Z Audiol*, 38(2):44 – 56.
- Wagner, A., Ernestus, M. und Cutler, A. (2006). Formant transitions in fricative identification: the role of native fricative inventory. *J Acoust Soc Am*, 120(4):2267 – 2277.
- Wallenberg, E.-L. und Kollmeier, B. (1989). Sprachverständlichkeitsmessungen für die Audiologie mit einem Reimtest in deutscher Sprache: Erstellung und Evaluation von Testlisten. *Audiol Akustik*, 28(2):50 – 65.

- Weissgerber, T., Rader, T. und Baumann, U. (2015). Impact of a moving noise masker on speech perception in cochlear implant users. *PlosOne*, S. 1 – 17.
- Wesker, T., Meyer, B., Wagener, K., Anemüller, J., Mertins, A. und Kollmeier, B. (2005). Oldenburg Logatome Speech Corpus (OLLO) for Speech Recognition Experiments with Humans and Machines. *Lisbon: Proceedings of Interspeech*, S. 1273 – 1276.
- Wesselkamp, M. (1994). *Messung und Modellierung der Verständlichkeit von Sprache. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fachbereiche der Georg-Augustus-Universität zu Göttingen. vorgelegt von Matthias Wesselkamp aus Ratingen.* Dissertation, Georg-Augustus-Universität zu Göttingen.
- Wesselkamp, M., Kliem, K. und Kollmeier, B. (1992). *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie.*, Kap. Erstellung eines optimierten Satztests in deutscher Sprache., S. 330 – 343. Heidelberg: Median-Verlag.
- Wetzel, L. (2000). The trouble with nominalism. *Philosophical Studies*, 98:361 – 370.
- Wichmann, F. und Hill, N. (2001). The psychometric function: I. fitting, sampling, and goodness of fit. *Percept Psychophys*, 63(8):1293 – 1313.
- Wilson, B., Lawson, D., Finley, C. und Wolford, R. (1991). Coding strategies for multichannel cochlear prostheses. *Am J Otol*, 12, Suppl:56 – 61.
- WindAcoustics (2016). Windacoustics suite: Modular software package for auditory-adapted signal and system analysis, real-time audio-signal processing, audio recording, and sound measurements. WindAcoustics UG, www.windacoustics.com.
- Woods, D. L., Arbogast, T., Doss, Z., Younus, M., Herron, T. J. und Yund, E. W. (2015a). Aided and unaided speech perception by older hearing impaired listeners. *PLoS One*, 10(3):e0114922.
- Woods, D. L., Doss, Z., Herron, T. J., Arbogast, T., Younus, M., Ettlinger, M. und Yund, E. W. (2015b). Speech perception in older hearing impaired listeners: benefits of perceptual training. *PLoS One*, 10(3):e0113965.
- Woods, D. L., Yund, E. W., Herron, T. J. und Ua Cruadhlaioich, M. A. I. (2010). Consonant identification in consonant-vowel-consonant syllables in speech-spectrum noise. *J Acoust Soc Am*, 127(3):1609 – 1623.

- Wotton, J., Welsh, K., Smith, C., Elvebak, R., Haseltine, S. und Shinn-Cunningham, B. (2006). Sentence context influences vowel perception in reverberant conditions. *J Acoust Soc Am*, 120(5):3358.
- Yoon, Y.-S., Shin, Y.-R. und Fu, Q.-J. (2013). Binaural benefit with and without a bilateral spectral mismatch in acoustic simulations of cochlear implant processing. *Ear Hear*, 34(3):273 – 279.
- Zierhofer, C. und Schatzer, R. (2012). *A Fine Structure Stimulation Strategy and Related Concepts, Cochlear Implant Research Updates*. InTech, available from: <http://www.intechopen.com/books/cochlear-implant-research-updates/a-fine-structure-stimulation-strategy-and-related-concept>.
- Zirn, S., Polterauer, D., Keller, S. und Hemmert, W. (2016). The effect of fluctuating maskers on speech understanding of high-performing cochlear implant users. *Int J Audiol*, 55(5):295 – 304.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Werner Hemmert für die Möglichkeit, diese Arbeit in seiner Arbeitsgruppe Bioanaloge Informationsverarbeitung durchführen zu können. Als Doktorvater stand er mir dabei stets mit vielen Ratschlägen und wertvollen Anregungen zur Seite. Des weiteren danke ich Prof. Dr.-Ing. Hugo Fastl für die Übernahme des Zweitgutachten und Prof. Dr. human. biol. Stefan Zirn für die Übernahme der Mentorenfunktion.

Ein ganz herzliches Dankeschön geht an all diejenigen, die als Probanden zur Verfügung standen, und dadurch einen sehr wichtigen und unverzichtbaren Beitrag für das Gelingen dieser Arbeit lieferten. Für die sehr gute Kooperation möchte ich Daniel Polterauer vom Klinikum Großhadern und Hans-Joachim Steinhoff vom Klinikum rechts der Isar ganz besonders danken. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Bei Dr.-Ing. Florian Völk möchte ich mich ganz herzlich bedanken für die fachlichen Diskussionen und die Unterstützung während der gesamten Zeit, in der diese Arbeit gewachsen ist. Seiner Firma Windacoustics UG danke ich für die kostenfreie Zurverfügungstellung der genutzten Programme.

Prof. Esther Ruigendijk von der Universität Oldenburg danke ich für die Zurverfügungstellung des OlakS-Sprachmaterials. Bei Dr. Markus Hofmann von der Freien Universität Berlin bedanke ich mich für das Zusenden seiner CELEX-Auswertungsdaten, Frauke Rüdibusch vom IDS Mannheim für ihre Hilfe bei der Vornamensbeurteilung und Dr. Karl-Heinz Best für die informative Email-Konversation zur Silbenverteilung im Deutschen.

Herzlich danken möchte ich der Firma Medel, die die Messung der Probandendaten unterstützt hat, insbesondere Peter Nopp, Peter Schleich, Dirk Meister und Daniel Leander und Andreas Krenmayr, die für Rückfragen immer zur Verfügung standen.

Für wichtige Beiträge, die im Rahmen von studentischen Forschungs-, Projekt- und Bachelorarbeiten entstanden sind, danke ich insbesondere Katharina Steigerwald, Hannah Beike und Daniel Polterauer.

Der gesamten Arbeitsgruppe des BAI danke ich für die Arbeitsatmosphäre, die durch ihre Interdisziplinarität zu interessanten Gesprächen führte und damit einen

Blick über das eigene Fachgebiet hinaus ermöglichte.

Der Graduate School der TUM danke ich insbesondere für die Möglichkeit des Austausches mit anderen Promovierenden. Der TUM möchte ich für den modernen Umgang mit dem Thema Diversity danken.

Für die Diskussionen in den Bereichen Linguistik/Psychologie danke ich ganz besonders M.A. Marion Zoth, Susanne Roisl, StRin Nora Datz.

Für die Diskussionen hinsichtlich statistischer Fragestellungen danke M.Sc. Oliver Kühnle, M.Sc. Veronika Lodd, M.Sc. Claudia Wiersch. Für die Diskussionen rund um diese Arbeit möchte ich Dr.és.sc. Erkan Nevzat Isa und Dr.rer.nat. Martin Tomas sehr herzlich danken.

M.A. Marion Lorenz, Dr.rer.nat. Martin Tomas, M.Sc. Claudia Falk, M.Sc. Veronika Lodd und Elvira Keller danke ich für die Durchsicht einer früheren Version des Manuskripts und die hilfreichen Anmerkungen.