

AUS DEM LEHRSTUHL  
FÜR HALS-NASEN-OHREN-HEILKUNDE  
PROF. DR. MED. CHRISTOPHER BOHR  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Untersuchung zu Kontexteffekten durch a priori Informationen zu Testwörtern  
in geschlossenen Testverfahren am Beispiel des Oldenburger Kinderreimtests  
im Störgeräusch auf der Basis des Verfahrens nach Boothroyd und Nittrouer**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Zahnmedizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Hanna Pinker

2022



AUS DEM LEHRSTUHL  
FÜR HALS-NASEN-OHREN-HEILKUNDE  
PROF. DR. MED. CHRISTOPHER BOHR  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Untersuchung zu Kontexteffekten durch a priori Informationen zu Testwörtern  
in geschlossenen Testverfahren am Beispiel des Oldenburger Kinderreimtests  
im Störgeräusch auf der Basis des Verfahrens nach Boothroyd und Nittrouer**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Zahnmedizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Hanna Pinker

2022

Dekan:	Prof. Dr. Dirk Hellwig
1. Berichterstatter:	PD Dr. habil. med. Dipl.-Ing. Thomas Steffens
2. Berichterstatter:	PD Dr. Fabian Cieplik
Tag der mündlichen Prüfung:	21.04.2023

# INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Hintergrund.....	1
1.2	Kontext und Kontexteffekte .....	1
1.3	Mathematische Modelle zur Quantifizierung des Kontexteffektes .....	10
1.4	Sprachaudiometrie und wichtige Begriffe .....	14
1.5	Der Oldenburger Kinderreimtest im Störgeräusch.....	16
1.6	Fragestellung und Zielsetzung .....	18
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>22</b>
2.1	Versuchsteilnehmer.....	22
2.2	Sprachmaterial des OLKI .....	22
2.3	Durchführung.....	24
2.4	Dokumentation der Ergebnisse und Auswertung .....	26
2.5	Fitfunktionen.....	26
2.6	Statistische Auswertung .....	29
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>31</b>
3.1	Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom SNR.....	31
3.2	Zusammenhang der Sprachverständlichkeit für Wörter, Silben und Laute zwischen der offenen und geschlossenen Darbietung .....	34
3.3	Ermittlung der Werte der k- und j-Faktoren .....	37
3.4	Abhängigkeit der k- und j-Faktoren vom SNR und SVI.....	44
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>53</b>
4.1	Diskussion der Methodik .....	53
4.2	Diskussion der Ergebnisse aus 3.1 und 3.2 .....	54
4.3	Diskussion der k- und j-Faktoren.....	59

4.4	Vergleich mit den Ergebnissen von Boothroyd und Nittrouer .....	67
4.5	Diskussion der Hypothesen.....	70
4.6	Grenzen der Modelle und Kritik .....	72
<b>5</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>76</b>
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>79</b>
7.1	Messwerte .....	79
7.2	Mann-Whitney-U Test für SVI-Unterschiede zwischen der offenen und geschlossenen Präsentation .....	83
7.3	ANOVA der Ränge bei Messwiederholung.....	87

Danksagung

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abhängigkeit der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch vom Kontexteffekt innerhalb eines Wortes.....	3
Abbildung 2: Abhängigkeit der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch vom Kontexteffekt innerhalb eines Wortes.....	4
Abbildung 3: Diskriminationsfunktionen der Regensburger Variante des OLKI und des OLKISA .....	8
Abbildung 4: Beispiel für 3 verschiedene Bildvorlagen des OLKI .....	23
Abbildung 5: Diskriminationsfunktionen der Sprachverständlichkeit für Wörter, Silben und Laute bei offenem und geschlossenem Testverfahren.....	32
Abbildung 6: Nichtlinearer Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit des offenen und geschlossenen Testverfahrens, jeweils für gleiche Stimuli (Wörter offen vs. Wörter geschlossen, Silben offen vs. Silben geschlossen und Laute offen vs. Laute geschlossen). .....	34
Abbildung 7: Gewinn an Sprachverständlichkeit in der geschlossenen Darbietung gegenüber der schwierigeren offenen Darbietung für Wörter, Silben und Laute in Abhängigkeit des SNR. ....	35
Abbildung 8: Gewinn an Sprachverständlichkeit in der geschlossenen Darbietung gegenüber der schwierigeren offenen Darbietung für Wörter, Silben und Laute in Abhängigkeit der Sprachverständlichkeit bei offener Darbietung. ....	36
Abbildung 9: Potenzfunktionen der Zusammenhänge zwischen der Sprachverständlichkeit von Lauten und Silben, Silben und Wörter, Lauten und Wörter, jeweils bei offenem Testverfahren.....	39
Abbildung 10: Potenzfunktionen der Zusammenhänge zwischen der Sprachverständlichkeit von Lauten und Silben, Silben und Wörter, Lauten und Wörter, jeweils bei geschlossenem Testverfahren.....	40
Abbildung 11: Mittelwerte mit 95%-Konfidenzintervalle für k und j. ....	43

Abbildung 12: Abhängigkeit der k-Faktoren vom SNR, basierend auf den Diskriminationsfunktionen der Gompertz- (rot) und Sigmoidalfunktion (schwarz). .....	45
Abbildung 13: Abhängigkeit der k-Faktoren vom SVI bei geschlossener Präsentation mit dem Vorlagenkontext, basierend auf den Diskriminationsfunktionen der Gompertz- (rot) und Sigmoidalfunktion (schwarz). .....	46
Abbildung 14: Abhängigkeit der j-Faktoren vom SNR, basierend auf den Diskriminationsfunktionen der Gompertz- (rot) und Sigmoidalfunktion (schwarz). .....	47
Abbildung 15: Abhängigkeit der j-Faktoren vom SVI der jeweils übergeordneten Spracheinheit, basierend auf den Diskriminationsfunktionen der Gompertz- (rot) und Sigmoidalfunktion (schwarz). .....	48
Abbildung 16: Abhängigkeit der k-Faktoren der Wörter, Silben und Laute vom SNR. .....	51
Abbildung 17: Abhängigkeit der k-Faktoren von der Sprachverständlichkeit der Wörter, Silben und Laute in der geschlossenen Präsentation mit dem Kontext der vorgelegten Wortliste. ....	52
Abbildung 18: 95%-Konfidenzintervalle um die Mittelwerte der SVI-Messergebnisse und die Funktionsverläufe der Diskriminationsfunktionen (blaue Linien).....	55
Abbildung 19: Vergleich der Genauigkeit der Anpassung der Fitfunktionen an die Daten (Kreise) für j und der Kombination Silben – Wörter in Abhängigkeit des SVI in der offenen Präsentation. ....	65
Abbildung 20: Zerlegung der doppelten Wachstumsfunktion für j und der Kombination Silben – Wörter in Abhängigkeit des SVI in der offenen Präsentation (durchgezogene Linie) in die beiden Wachstumsterme nach Gleichung (19) mit den Funktionsparametern aus Tabelle 13.....	65
Abbildung 21: Darstellung der Rohwerte von j Wörter/Laute in der offenen Präsentation.....	72

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich von SRT und Steigung $s$ zwischen der Regensburger Variante des OLKI und des OLKISA .....	9
Tabelle 2: Wortinventar OLKI .....	17
Tabelle 3: Oldenburger Kinderreimtest Liste 1 .....	22
Tabelle 4: Umwandlung der jeweils drei Testwörter des Bildmaterials aus Abbildung 4 in die schriftlichen Auswahlwörter, wie sie in der vorliegenden Untersuchung angewandt wurden.....	24
Tabelle 5 : Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) des Sprachverständlichkeitsindex SVI für Wörter, Silben und Laute bei verschiedenen SNRs bei geschlossenem und offenem Testverfahren, sowie die Anzahl der gewerteten Ergebnisse ( $n$ ) der Wörter, Silben und Laute. ....	31
Tabelle 6: Parameter der Diskriminationsfunktionen der Wörter, Silben und Laute jeweils bei offener und geschlossener Darbietung .....	33
Tabelle 7: Parameter der Fletcher-Galt-Funktionen in Abbildung 6.....	35
Tabelle 8: Maximaler Gewinn an Sprachverständlichkeit in der geschlossenen Darbietung gegenüber der Sprachverständlichkeit bei offener Darbietung (SV offen).....	36
Tabelle 9: Exponent $j$ der Potenzfunktionen nach (13) für den mathematischen Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit von sprachlichen unter- und übergeordneten Einheiten für alle Messwertepaare bei gleichem SNR, mit $R^2$ und der Anzahl $n$ an Messwerten.....	38
Tabelle 10: $k$ - und $j$ -Faktoren als Exponenten der Potenzfunktionen (13) und (15) aus den Wertepaaren der Diskriminationsfunktionen. ....	41
Tabelle 11: Mittelwerte (MW), einfache Standardabweichungen (SD) und Anzahl an gewerteten Ergebnissen ( $n$ ) zur Berechnung von $k$ und $j$ .....	42
Tabelle 12: Parameter der exponentiellen Wachstumsfunktionen der $j$ -Faktoren in Abhängigkeit des SNR und die Verdoppelungskonstante $SNR_2$ . ....	49

Tabelle 13: Parameter der doppelt-exponentiellen Wachstumsfunktionen der j-Faktoren in Abhängigkeit des SVI.....	50
Tabelle 14: Verdoppelungskonstanten SVI21 und SVI22 der beiden Wachstumsterme der doppelt-exponentiellen Wachstumsfunktionen der j-Faktoren in Abhängigkeit des SVI.....	50
Tabelle 15: Direkter Vergleich der Parameter aus Tab.6 offen zu geschlossen .....	57
Tabelle 16: Vergleich der k- und j-Faktoren in Abhängigkeit der Berechnungsmethode.....	60
Tabelle 17: Relative Veränderung der einzelnen j Werte-Kombinationen nach Tabelle 10 durch die Wortvorlagen .....	62
Tabelle 18: Vergleich der aus Abb.16 abgelesenen Werte für Kmax und dem SNR für maximales K mit den Werten des maximalen Gewinns an SVI und dem zugehörigen SNR, abgelesen aus Abb.7 .....	64
Tabelle 19: Vergleich der Werte für k und j bei diesem Versuchsaufbau mit den Werten nach Boothroyd und Nittrouer 1988 (CVC = Consonant-Vowel-Consonant, ZP= Zero Predictable).....	67

## Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Varianzanalyse (von engl. Analysis of Variance)
CVC	Konsonant–Vokal–Konsonant (von engl. Consonant-Vowel-Consonant)
dB	Dezibel
dB SNR	Signalrauschverhältnis in Dezibel
HP	High Predictable
Hz	Hertz
LP	Low Predictable
NAM	Neighbourhood Activation Model
OLKI	Oldenburger Kinder-Reimtest
OLKISA	Oldenburger Kinder-Satztest
OLSA	Oldenburger Satztest
SNR	Signal-Rausch-Verhältnis (von engl. Speech-to-Noise- Ratio)
SRT	Sprachverständlichkeitsschwelle (von engl. Speech-Reception-Threshold)
SV	Sprachverständlichkeit
SVI	Sprachverständlichkeitsindex
TL	Testliste
ZP	Zero Predictable

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund

Das Hören von Sprache, Identifizieren von Lauten und Wörtern und am Ende das Verstehen der gesprochenen Information gehört zu den wichtigsten Kompetenzen im Leben und Alltag eines Menschen, also den Sozialkompetenzen im Umgang mit seinen Mitmenschen. Dabei treten viele Umgebungsgeräusche als Störfaktoren mit auf, was es schwieriger macht, Wörter richtig zu verstehen. Wenn Teile von Wörtern oder Sätzen aufgrund dieser Geräusche maskiert werden, kann man oft aufgrund des Kontextes des Gesprächs oder der Wörter trotzdem auf das Gesprochene schließen. Störgeräusche stellen vor allem für Hörgeschädigte ein Problem dar.

Kontext kann bei sprachaudiometrischen Tests auch durch a priori Information über das zu erkennende Sprachmaterial in Form von einer begrenzten Anzahl an Antwortalternativen geschaffen werden, die zur Auswahl vor Beginn der akustischen Ausgabe des Teststimulus (Wort, Silbe oder Laut) der Testperson präsentiert werden. Inwiefern sich diese Art von Kontext in den sprachaudiometrischen Testergebnissen widerspiegelt ist zentrales Thema dieser Arbeit.

## 1.2 Kontext und Kontexteffekte

In der Sprachwissenschaft bezeichnet der lateinische Begriff *Con-textus*, also Zusammenhang, als „umfassender Begriff der Kommunikationstheorie alle Elemente einer Kommunikationssituation, die systematisch die Produktion und das Verständnis einer Äußerung bestimmen“ (Bussmann 2008, S. 368). Man unterscheidet drei verschiedene Typen: An oberster Stelle steht der allgemeine Kontext der Gesprächssituation, wie zum Beispiel Ort, Zeit oder Handlungszusammenhang der Äußerung. Dazu gehört auch der persönliche und soziale Kontext, also die Beziehung zwischen Sprecher – Hörer und ihren Einstellungen, Interessen, Wissen. Darunter folgt der sprachliche Kontext, welcher einzelne Ausdrücke grammatikalisch und semantisch richtig verknüpft (Bussmann 2008, S. 368) . Er lässt sich als zweite Ebene in der fließenden Sprache in den semantischen und syntaktischen Kontext zusammenfassen, der im Zusammenhang zwischen mehreren Wörtern (Inter-Item-Kontext) auftritt. Dazu zählen auch Stimmklangvariationen, Betonungen und

Prosodie, sowie Sprechgeschwindigkeit. Zum Beispiel wird eine Frage oft mit einer Stimmfrequenzanhebung am Satzende spezifisch betont oder durch explizit langsame Artikulation die Bedeutung der Sprachäußerung hervorgehoben.

Bei der Identifikation von Einzelwörtern stellt der Silben- und Lautkontext innerhalb eines Wortes (Intra-Item-Kontext) die dritte Kontextebene dar. Grundsätzlich müssen nicht alle akustischen Elemente die Sprachinformation übertragen, wie einzelne Laute, Phoneme, Silben etc., erkannt werden, um ein Wort richtig zu verstehen oder zu identifizieren. Bei ausreichender Kenntnis der gehörten Sprache können fehlende oder undeutliche Elemente innerhalb der kognitiven Prozesse zur Worterkennung durch Abgleich mit im Wortschatz vorhandenen ähnlich klingenden Wörtern ergänzt werden. Damit besteht für den Hörer die Möglichkeit, bei der Worterkennung fehlende Laute oder Undeutlichkeiten zu korrigieren oder zu umgehen.

Kontexteffekte wurden seit vielen Jahren in zahlreichen Untersuchungen behandelt (z. B. Miller et al. 1951, Boothroyd und Nittrouer 1988, Bronkhorst et al. 1993). In der Sprachaudiometrie werden Einzelwörter oder Einzelsätze am häufigsten verwendet. Deshalb sind die Kontexteffekte zwischen mehreren Wörtern eines Satzes und vor allem zwischen Silben und Lauten innerhalb eines Einzelwortes für die Testergebnisse sprachaudiometrischer Untersuchungen von besonderer Bedeutung.

#### Laut- und Silbenkontext in Einzelwörtern

Aus der Grundlagenarbeit von Miller et al. (1951) wird deutlich, dass sinnvolle Wörter einfacher zu erkennen sind als unsinnige, sogenannte „Nonsense Syllables“. Miller et al. untersuchen drei Arten von Kontext; den Kontext, der sich ergibt, wenn das Wort aus einer vorgegebenen Auswahl an Wörtern stammt, wenn das Wort aus einem Satz stammt oder wenn es sich um ein wiederholtes Wort handelt (Miller, G. A., Heise, G. A., und Lichten, W. 1951). Abbildung 1 zeigt für drei Gruppen an Wörtern die Abhängigkeit der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch vom Kontexteffekt innerhalb eines Wortes. Bei gleichem SNR können leicht vorhersagbare Zahlwörter schon bei geringer Hörbarkeit (niedriger SNR) der sie bildenden Laute und Silben richtig erkannt werden als die Einzelwörter eines Satzes. Logatome (Silben ohne Bedeutung) haben keinen inneren Kontext und können nur durch vollständige Hörbarkeit ihrer Einzellaute richtig erkannt werden.

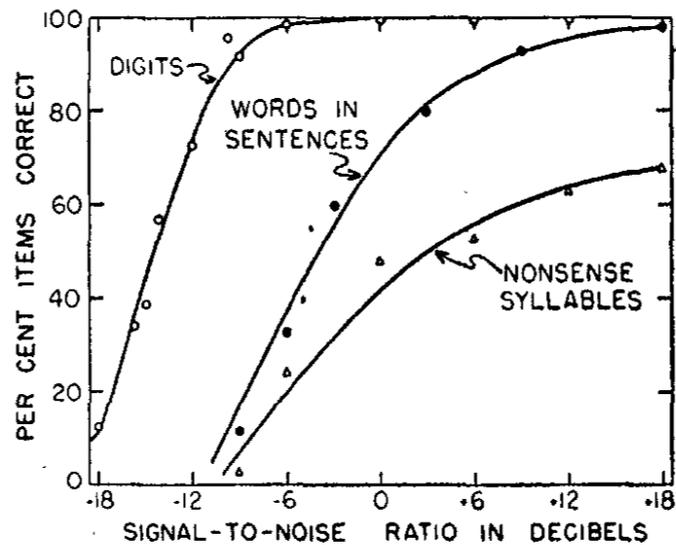


Abbildung 1: Abhängigkeit der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch vom Kontexteffekt innerhalb eines Wortes. Im Vergleich: Zahlwörter, Wörter in Sätzen, Logatome (Fig. 1 aus Miller et al. 1951)

Abbildung 2 zeigt den Kontexteffekt von Wörtern in Sätzen im Vergleich zu dem Kontexteffekt derselben Wörter in Isolation präsentiert. Der Kontext zwischen den Einzelwörtern eines Satzes ermöglicht eine bessere Worterkennung bei nur teilweiser Hörbarkeit (niedriges SNR) als wenn dieselben Wörter einzeln, isoliert ohne den Satzzusammenhang präsentiert werden.

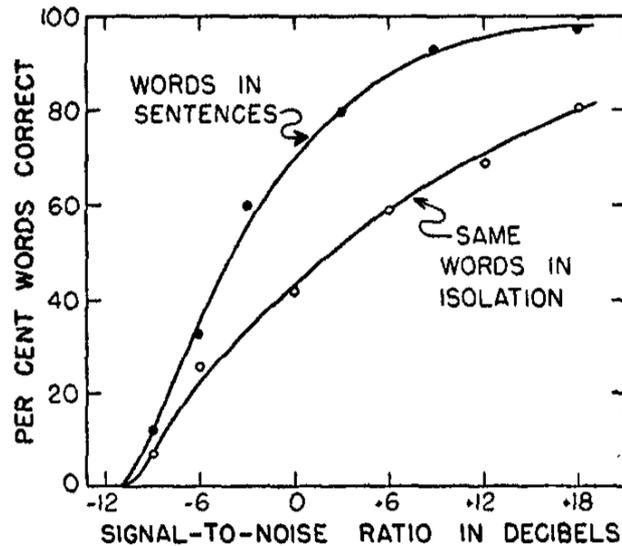


Abbildung 2: Abhängigkeit der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch vom Kontexteffekt innerhalb eines Wortes. Im Vergleich: Wörter aus Sätzen und dieselben Wörter in Isolation (Fig. 3 aus Miller et al. 1951)

Im Vergleich zu Logatomen werden bei Testverfahren mit Wörtern aus sinnvollen Sätzen beim gleichen SNR sogar bis zu 80 Prozentpunkte mehr erreicht, was den zusätzlichen lexikalischen Effekt bei der Identifikation von Wörtern der Muttersprache zeigt (Bosman 1989). Bei der Erkennung von Phonemen innerhalb eines Wortes kommt der Effekt hinzu, dass sie nicht einzeln betont werden, sondern im Zusammenhang mit ihren umgebenden Lauten. Das Sprachsignal beinhaltet also co-artikulatorische und allophonische Merkmale, die die Position der Phoneme innerhalb eines Wortes und der sie umgebenden Laute beeinflusst (Bronkhorst et al. 2002).

Die so genannten *a priori* Kenntnisse über das zu erkennende Wort erhöhen dessen Erkennungswahrscheinlichkeit. Dabei handelt es sich zum einen um zusätzliche Informationen, die dem Hörer unabhängig von der Präsentation des zu erkennenden Wortes geliefert werden, wie zum Beispiel eine begrenzte Auswahl an Wörtern. Zum anderen können auch *a priori* Kenntnisse durch den Kontext erworben werden, welche zum Beispiel durch den mentalen Wortschatz des Hörers oder die Bekanntheit und Verwendungshäufigkeit des Wortes gegeben werden. Effekte der durch Kontext gewonnenen *a priori* Kenntnisse zu einem Einzelwort für dessen Identifikationswahrscheinlichkeit werden in dem „Neighborhood Activation Model“ (NAM) von Luce und Pisoni (1998) beschrieben.

Luce und Pisoni fanden mit ihren Tests und Experimenten zum NAM heraus, dass die Anzahl und Art der Wörter in einer klanglich ähnlichen Umgebung oder Wortgruppe die Geschwindigkeit und Genauigkeit der Worterkennung beeinflussen. Das Modell beschreibt die Effekte der Struktur der klanglichen Ähnlichkeit der Gruppen auf den Diskriminierungsprozess der phonemischen, also akustisch-phonetischen Repräsentation der im Gedächtnis gespeicherten Wörter (Luce und Pisoni 1998).

Im NAM erfolgt die Wortidentifikation dadurch, dass unabhängig von dessen Semantik ein bestimmtes Wort im Kontext zu phonemisch ähnlichen Wörtern erkannt wird. Man geht davon aus, dass Wörter im mentalen Lexikon (Wortschatz) in verschiedenen phonemischen Gruppen, sogenannten „Neighborhoods“ organisiert und gespeichert sind. Diese Neighborhoods beinhalten jeweils phonemisch ähnliche Wörter, bei denen nur ein einzelnes Phonem ausgetauscht, weggelassen oder hinzugefügt wird. Nach der Vorstellung des NAM beeinflussen drei wichtige Faktoren die Identifizierungswahrscheinlichkeit eines Wortes. Zum einen die „Neighborhood Density“, also die Dichte oder Anzahl an phonetisch ähnlichen Wörtern zu einem bestimmten Zielwort. (Das Wort „Hose“ hätte zum Beispiel eine sehr große Neighbourhood Density, Wörter wie Dose, Rose, Soße, große... klingen sehr ähnlich. Im Vergleich dazu hat das Wort „Rock“ nur eine sehr geringe Anzahl an phonetisch ähnlichen Wörtern.) Dann die „Neighborhood Frequency“, welche die Häufigkeit des Auftretens, also die Benutzungshäufigkeit oder Gebräuchlichkeit jedes der Wörter in einer dieser Neighborhoods beschreibt, und als dritten Faktor, die „Word Frequency“, womit die Häufigkeit der Benutzung des Zielworts und dadurch dessen Bekanntheit gemeint ist. Das Modell geht davon aus, dass durch die häufige Verwendung eines Wortes, entweder durch passives Hören oder aktives Sprechen, dessen neuronale Speicherstärke im mentalen Lexikon, repräsentiert durch die Stärke der synaptischen Verbindungen zwischen den Speicherneuronen, gegenüber nur selten verwendeten Wörtern deutlich größer ist. Im Vergleich des aus der auditorischen Peripherie einlaufenden Lautkonstrukts mit den Lautmustern schon gelernter Wörter im Wortspeicher sollen Wörter mit hoher Speicherstärke zuerst ausgewählt werden, insbesondere wenn das Lautmuster durch Hörverluste oder Störgeräusche nur unvollständig angeliefert wird. Ein sehr häufig genutztes und bekanntes Wort wird

daher unter ungünstigen akustischen Bedingungen viel leichter erkannt als eines, das nur selten benutzt wird (Dirks et al. 2001).

### Koartikulatorischer Kontext

Ein weiteres Kontextmodell wird mittels koartikulatorischem Kontext beschrieben. Stilp (2020) untersucht in einer Arbeit den Einfluss von spektralem, temporalem und spektrotemporalem Kontext auf die Sprachwahrnehmung. Er unterteilt diesen Einfluss in sogenannte „Forward Effects“ (Kontext geht dem Objekt voraus), „Backward Effects“ (Kontext folgt nach dem Objekt), „Proximal Effects“ (Kontext ist benachbart/zeitlich angrenzend zu dem Objekt) und „Distal Effects“ (Kontext ist zeitlich entfernt von dem Objekt). Stilp beschreibt den Backward Effect beispielsweise damit, dass derselbe akustische Artikulationsbaustein einmal als „p“ wahrgenommen wird, wenn ihm ein „i“ oder „u“ vorausgeht; geht jedoch ein „a“ voran, so wird er als „k“ wahrgenommen (Stilp 2020).

Da diese akustische Feinstruktur im Störgeräusch allerdings sehr wenig hörbar und damit der koartikulatorische Kontext kaum nutzbar ist, wird er in der vorliegenden Arbeit nicht weiter betrachtet.

### Kontexteffekte in Sätzen und fließender Sprache

Bei der im Alltag typischen fließenden Sprache tritt der semantische und syntaktische Kontext zwischen den Wörtern in den Vordergrund. Schon das übergeordnete Gesprächsthema gibt einen Hinweis auf die darin verwendeten Wörter. In der Sprachaudiometrie wird die fließende Sprache des Alltags durch Satztestverfahren abgebildet. Dabei werden meistens semantisch und syntaktisch korrekte und vollständige Einzelsätze verwendet und das Testergebnis durch Zählung der richtig wiedergegebenen Einzelwörter ermittelt.

Innerhalb eines Satzes ergibt sich schon in dem Moment eine a priori Kenntnis über die darin verwendeten Wörter, wenn bei noch nicht vollendetem Satz dessen Satzaussage erkannt wird. Besonders deutlich wird dieser Effekt bei gut bekannten Sprichwörtern und Redewendungen. Hier kann ein unverständliches Wort leicht aus der erkannten oder vermuteten Satzaussage hergeleitet werden. In ähnlicher Weise kann bei einer leicht erkennbaren sinnvollen Satzaussage ein falsch verstandenes

Wort aus dem episodischen Gedächtnis, das mit der erkannten Satzaussage verbunden ist, sinnvoll korrigiert werden. Umgekehrt könnte bei einem gestörten Satz eine falsche Vermutung über die Satzaussage dazu führen, dass ein gestörtes Wort durch ein falsches Wort mit höherer Speicherstärke im laufenden Prozess der Spracherkennung ersetzt wird, und der Hörer einen anderen Sachverhalt versteht, als tatsächlich gesprochen wurde (lautet ein Satz zum Beispiel: „Die Sonne weint“ und der Hörer versteht nur „Die Sonne ..eint“, könnte er automatisch meinen der Satz hieß „Die Sonne scheint“, weil ihm dies viel geläufiger ist und mehr Sinn ergibt).

In der Literatur werden viele Untersuchungen zu linguistischen Kontexteffekten bei der Erkennung von Wörtern in Sätzen beschrieben. Laut Miller (1951) und Bosman (1989) werden Wörter innerhalb von Sätzen viel leichter erkannt, als wenn dieselben Wörter isoliert präsentiert werden. Dies lässt auf den kombinierten Effekt von Syntax und Semantik zur Erhöhung der Wortidentifikationswahrscheinlichkeit schließen. Bronkhorst, Brand und Wagener untersuchen in einer Studie 2002 anhand der Ergebnisse von zwei Satztests für die deutsche Sprache, dem Göttinger und dem Oldenburger Satztest, ob die von Bronkhorst et al. (1993) entwickelten Modelle zur Bestimmung des Kontexteffekts auch für Satztests angewandt werden können.

Auch in der Sprachverarbeitung bei Kindern spielen die oben genannten linguistischen Kontexteffekte eine Rolle. Eisenberg et al. (2002) beschreiben bei einer Untersuchung mit Kindern sowohl einen lexikalischen Effekt, einfache Stimuli wurden demnach besser erkannt als schwierige, als auch einen syntaktischen Kontexteffekt, Wörter in Sätzen wurden bei den normalhörenden Kindern besser erkannt als die Wörter in Isolation (Eisenberg et al. 2002). In einer vorangegangenen Studie untersuchten Eisenberg et al. (2000), ob Kinder Sprache unter denselben Bedingungen bzw. Störfaktoren wie bei Erwachsenen erkennen und verarbeiten können. Die Ergebnisse zeigten, dass vor allem kleinere Kinder (5-7-Jährige) signifikant weniger fehlerfrei in der Spracherkennung sind. Eisenberg et al. sehen die Ursachen darin, dass Kinder noch nicht die komplette sensorische Information umzusetzen wissen und weniger erfahren und bewandt sind in der Anwendung des Kontexteffekts zur Erkennung der Wörter in Sätzen. Es fehlt ihnen noch an sprachlicher und kognitiver Entwicklung (Eisenberg et al. 2000; Eisenberg et al. 2002).

Spezielle Kinderhörttests mit angepasstem Vokabular und einfacher Durchführung sind daher essenziell.

Wagener und Kollmeier haben 2005 den Oldenburger Kinder-Satztest (OLKISA) vorgestellt, welcher eine vereinfachte und für Kinder geeignete Version des Oldenburger Satztests für Erwachsene (OLSA) darstellt. In einer Untersuchung mit Kindern der 2. und 3. Klasse stellte Steffens (2007) die Ergebnisse der gemittelten Parameter SRT und Steigung der Diskriminationsfunktionen seiner Regensburger Variante des OLKI als Einzelworttest denen des OLKISA gegenüber (Abbildung 3).

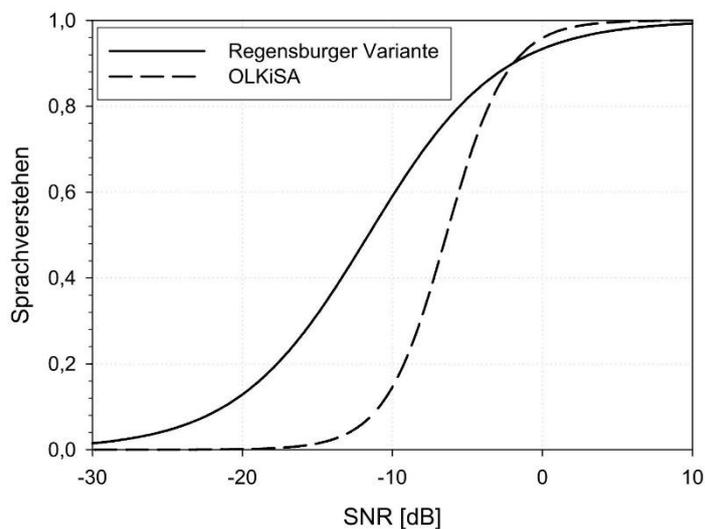


Abbildung 3: Diskriminationsfunktionen der Regensburger Variante des OLKI und des OLKISA (Steffens 2007, p. 111)

Der höhere Wert der Steigung  $s$  bei dem Satztest (Tabelle 1) ist nach Steffens (2007) auf den Kontexteffekt zurückzuführen, da der Sprecher in beiden Tests identisch war (Steffens 2007).

	SRT [dB]	s [%/dB]
Regensburger Variante (Einzelworte)	-11,6	5,7
OLKiSA	-6,4	12,3

*Tabelle 1: Vergleich von SRT und Steigung s zwischen der Regensburger Variante des OLKI und des OLKISA (Steffens 2007, p. 110)*

Kontexteffekte durch die a priori Information von Antwortalternativen in geschlossenen Testverfahren:

Eine zusätzliche Art von Kontext, die sich zur Wirkung der linguistischen Kontexteffekte addieren kann, entsteht durch a priori Informationen in geschlossenen Testverfahren, indem zu jedem Teststimulus eine begrenzte Auswahl an Antwortalternativen schon vor der akustischen Präsentation angegeben werden, die den Teststimulus beinhalten und aus denen die Testperson auswählen muss.

So erhöht die Vorlage mehrerer Antwortalternativen, die sich nur in einem Teil ihrer phonetischen Bausteine unterscheiden, zusätzlich zu den oben beschriebenen linguistischen Kontexteffekten die Wahrscheinlichkeit einer richtigen Angabe, weil nicht mehr alle Bausteine für eine korrekte Antwort identifiziert werden müssen. Wird etwa in Einzelwörtern mit derselben Silbenanzahl nur jeweils eine Silbe verändert, wie in den Reimwörtern Rose – Dose – Hose nur die Anfangssilbe sich verändert, ist für eine richtige Antwort nur noch die Identifikation und Diskrimination der Anfangssilben für eine richtige Antwort nötig. Dadurch sollte sich die Identifikationswahrscheinlichkeit des richtigen Testwortes relevant erhöhen.

### 1.3 Mathematische Modelle zur Quantifizierung des Kontexteffektes

Bei der perzeptiven Sprachverarbeitung tragen die Kontexteffekte zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit bei. Boothroyd und Nittrouer (1988) quantifizieren anhand der Testergebnisse von Sprachverständlichkeitsmessungen die mathematischen Zusammenhänge des Kontexteffekts von Wörtern in Sätzen und von Phonemen in Wörtern durch zwei Faktoren,  $k$  und  $j$ .

Der Faktor  $k$  gibt den mathematischen Kontexteffekt durch die Erfassung der Semantik der Einzelwörter eines Satzes und der syntaktischen Regeln zur Satzbildung zur Verbesserung des Sprachverstehens der Wörter in Sätzen gegenüber der Einzelwortverständlichkeit an. Kontexteffekte, die durch die Identifizierungs- und Diskriminierungswahrscheinlichkeit der phonetischen Subelemente eines Wortes, Laute und Silben, zur Identifikationswahrscheinlichkeit eines Einzelwortes beitragen, werden durch den Faktor  $j$  quantifiziert.

Die mathematische Herleitung des Kontextfaktors  $k$  basiert auf der Annahme, dass bei nicht optimaler Hörbarkeit (Sprachverständlichkeit zwischen 5% und 95%) durch Störgeräusche oder Hörverluste die fehlende sensorische Information durch den Kontexteffekt der Wörter in einem Satz quantitativ äquivalent zur Addition von zusätzlichen statistisch unabhängigen sensorischen Informationskanälen ist. Dadurch steigt die Identifikationswahrscheinlichkeit der Wörter eines Satzes gegenüber der kontextfreien isolierten Präsentation der Einzelwörter an. Die nutzbaren Informationskanäle können sowohl durch Hörbarkeits- und Deutlichkeitsaspekte physikalischer Natur als auch durch erlerntes Sprachwissen (Wortschatz, Semantik, Grammatik usw.) kognitiver Natur sein. Gemeinsam ist ihnen, dass je mehr Informationskanäle an der Spracherkennung beteiligt sind, desto größer wird die Erkennungswahrscheinlichkeit für die Sprachelemente.

Boothroyd und Nittrouer verwenden nun einen Ansatz aus der Signaltheorie, dass sich unter dieser Voraussetzung die Logarithmen der Fehlerwahrscheinlichkeiten  $(1 - p)$  für die kontextabhängigen und der intrinsischen (allein auf Kontexteffekt basierend) Informationskanäle addieren.  $p_c$  gibt die Wahrscheinlichkeit der Erkennung einer Spracheinheit (hier die Einzelwörter eines Satzes) mit Kontext,  $p_i$  die Wahrscheinlichkeit isoliert ohne Kontext (wie z.B. bei der zusammenhangslosen isolierten Einzelwortpräsentation) und  $p_x$  die Wahrscheinlichkeit der Worterkennung

allein durch Kontexteffekt an (z. B. durch die Vorhersage eines unhörbaren Wortes allein durch die richtige Ermittlung der Satzaussage).

$$\log(1 - p_c) = \log(1 - p_i) + \log(1 - p_x) \quad (1)$$

Da die Spracheinheit mit und ohne Kontext unter denselben Bedingungen (z.B. hörbarkeitseinschränkende Maskierungen durch Störgeräusche) gemessen werden, kann angenommen werden, dass  $\log(1 - p_i)$  und  $\log(1 - p_x)$  zueinander proportional sind. Dadurch vereinfacht sich die Gleichung (1) durch die Einführung der Proportionalitätskonstante  $k$  zu

$$\log(1 - p_c) = k \log(1 - p_i) \quad (2)$$

Durch die Proportionalitätskonstante  $k$  ergibt sich der Zusammenhang zwischen der Wahrscheinlichkeit der Worterkennung mit ( $p_c$ ) und ohne ( $p_i$ ) Kontext

$$p_c = 1 - (1 - p_i)^k \quad (3)$$

Der Exponent  $k$  gibt nun die Anzahl an statistisch unabhängigen Informationskanälen an, die den Kontexteffekt liefern. Er ergibt sich nach Umformen der Gleichung (3) zu

$$k = \log(1 - p_c) / \log(1 - p_i) \quad (4)$$

Der Wert von  $k$  ist 1, wenn kein Kontexteffekt vorliegt, da hier  $p_i = p_c$  ist. Je mehr Kontext hinzugefügt wird, umso größer wird  $p_c$  gegenüber  $p_i$  und umso größer wird  $k$ .

Die Grundlage für die Berechnung des zweiten Kontextfaktors  $j$  ist die Wahrscheinlichkeit der Erkennung eines Ganzen (z. B. eines Wortes, das aus mehreren Silben oder Lauten besteht) in Relation zur Wahrscheinlichkeit der Erkennung der Teile (Laute, Silben), aus welchen sich das Ganze zusammensetzt. Es wird angenommen, dass die Erkennung des Ganzen die Erkennung der einzelnen

Teile erfordert und die Erkennungswahrscheinlichkeiten der Teile gleich groß und unabhängig voneinander sind. Daraus folgt der Zusammenhang der Wahrscheinlichkeit der Erkennung des Ganzen, hier eines Wortes, ( $p_w$ ) von der Wahrscheinlichkeit der Erkennung eines Teils des Ganzen ( $p_p$ ), hier der Einzellaute oder Silben, und der Anzahl der Teile des Ganzen ( $n$ ) durch n-fache Multiplikation der Einzelwahrscheinlichkeiten  $p_p$  zu

$$p_w = p_p^n \quad (5)$$

Anstelle von ( $n$ ) wird der Faktor  $j$  eingeführt, welcher die Werte  $1 \leq j \leq n$  annehmen kann.

$$p_w = p_p^j \quad (6)$$

Der Exponent  $j$  steht also für die effektive Anzahl an statistisch unabhängigen Teilen eines Ganzen (z.B. Phoneme im Wort). Aus Gleichung (6) ergibt sich

$$j = \log(p_w) / \log(p_p) \quad (7)$$

Der Wert von  $j$  ist gleich  $n$ , wenn kein Kontexteffekt vorliegt. Hier sind alle  $n$  Teile nötig, um das Ganze erkennen zu können. Je mehr Kontext hinzugefügt wird bzw. vorliegt, desto weniger Teile müssen zur Identifikation des Ganzen erkannt werden und desto kleiner wird  $j$ .

In den hier vorliegenden Experimenten sind  $j$  und  $k$  Maßzahlen der auditiven Verarbeitung, nicht der physikalisch-akustischen Vermessung eines Wortes. Sie zeigen also an, was das Gehör aus dem akustischen Signal für die Worterkennung entnommen hat. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein eines akustischen Signals, dass das Signal solche Informationsteile beinhaltet und dass sie überhaupt hörbar (Schallpegel, Hörschwelle und SNR) sind.

Genauere Beschreibung der j- und k-Werte:

- Ein kleiner Wert für j bedeutet einen hohen Anteil an Kontexteffekt; man braucht also nur wenig Teile, um ein Wort zu verstehen.
- Ein großer Wert für j bedeutet wenig Kontext, weil alle informationstragenden Einzelelemente zur Erkennung des Ganzen gebraucht werden.
- $j=1 \rightarrow p_w = p_p \rightarrow$  Man braucht nur ein Teil, um das Ganze zu verstehen. Entweder ist das Wort sehr leicht zu verstehen, gut bekannt oder der Hörer erbringt eine sehr große kognitive Leistung zur Fehlerkorrektur
- $j=n$ , wenn kein Kontexteffekt vorliegt. Je mehr Kontext, desto kleiner j
- Boothroyd und Nittrouer (1988) begründen höhere Werte für j bei steigendem SNR damit, dass die Sprachverständlichkeit und die Spracherkennung bei besseren Hörbedingungen (hoher SNR) weniger von inner-linguistischen Bedingungen abhängig ist, da mehr Informationsteile hörbar sind.
- Die Abhängigkeit von j und k von  $p_p$  resultiert aus einem verringerten Einfluss des Kontexts bei steigender Menge an sensorischer Information (z.B. höherer SNR) (Boothroyd und Nittrouer 1988).
- k steht für die Anzahl an Übertragungskanälen, je größer die Werte von k, desto mehr Übertragungskanäle liegen vor und desto mehr Informationsanteile, die Kontext erzeugen können. Übertragungskanäle können dabei sowohl unterschiedliche Frequenzen übertragen und/oder zeitliche Veränderungen und räumliche Information aus dem Richtungsgehör.
- $k=1 \rightarrow p_c = p_i \rightarrow$  kein Kontext notwendig

Alternative Modelle zur Bestimmung des mathematischen Kontexts, die hier allerdings nicht weiter untersucht werden, sind das Modell von Bronkhorst (1993) und das Smits und Zekveld-Modell (2021). Beide Modelle sind laut Smits und Zekveld (2021) detaillierter und geben ein genaueres Bild des Kontexteffekts in Sätzen wieder. Die Vorteile von dem Ursprungs-Modell von Boothroyd und Nittrouer (1988) liegen allerdings darin, dass es sich um eine einfachere Rechnung handelt, der j-

Faktor aus den Daten von Standard-Sprachtests gewonnen werden kann und der Umfang an Kontext mit einem einzigen Faktor bestimmt werden kann (Smits und Zekveld 2021).

#### **1.4 Sprachaudiometrie und wichtige Begriffe**

##### Sprachaudiometrie

Zur Quantifizierung der Kontexteffekte sind sprachaudiometrische Untersuchungen geeignet. Es existieren viele verschiedene Hörtests, um die Prozesse des Sprachverständlichkeit mit Einzelwörtern und des Sprachverstehens mit Sätzen der fließenden Sprache zu untersuchen und insbesondere in der klinischen Anwendung mögliche Auswirkungen von Hörschäden auf die Sprachverständlichkeit zu identifizieren und dann zu behandeln.

Der mit Abstand am häufigsten eingesetzte sprachaudiometrische Test ist der Freiburger Einsilbertest (Hahlbrock 1953) als Einzelwort-Test in Ruhe. Eine Optimierung des Freiburger Einsilbertests zur Untersuchung im Störgeräusch ist der Aachener Dreinsilbertest (Döring, W. H., Hamacher, V. 1992). Einzelwortverfahren können nur unzulänglich die fließende Sprache des Alltags repräsentieren. Dafür werden Satztests, wie z.B. der Göttinger Satztest (Wesselkamp et al. 1992) oder der Oldenburger Satztest (Wagener et al. 1999) verwendet. Speziell für Kinder entwickelte sprachaudiometrische Tests mit Einzelworten orientieren sich an dem alters- und entwicklungsabhängigen Wortschatz. Am häufigsten eingesetzt wird hier der Mainzer Kindertest (Biesalski, P., Leitner, H., Leitner, E., Gangel, D. 1974). Die bevorzugte Testmethodik mit Einzelworttests ist das offene Verfahren der akustischen Präsentation der Einzelwörter ohne weitere Hilfestellung mit der Aufgabe des Nachsprechens durch die Testperson. Die Bewertung der gesprochenen Antwort erfolgt durch die Einschätzung der Prüfperson. Insbesondere bei Kindern mit früh erworbener oder angeborener Hörstörung ist durch die (teilweise) Unhörbarkeit von Sprachlauten hervorgerufenen Artikulationsstörungen eine valide Bewertung der gesprochenen Antwort erheblich erschwert. Um das Problem der Bewertung gesprochener Antworten zu umgehen, kann ein Einzelwort mit Hilfe von einem Bild oder in geschriebener Form zusammen mit weiteren Auswahlmöglichkeiten auf Papier oder einem Bildschirm zusätzlich zur akustischen Ausgabe präsentiert

werden. Dabei wird eine geringe Anzahl an Antwortalternativen angezeigt, aus denen ein Kind durch Zeigen eine Antwort sprachfrei angeben kann. Da hierbei die Antwortmöglichkeiten auf den angezeigten Satz von 2 – 5 Antwortalternativen eingegrenzt sind, nennt man diese Testmethodik einen geschlossenen Test (siehe auch Beschreibung unten). Ein oft verwendeter Vertreter von geschlossenen Einzelwortverfahren bei Kindern ist der Oldenburger Kinderreimtest (Brand et al. 1999). Dessen Eigenschaften im Hinblick auf Kontexteffekte, die sich durch die vor der akustischen Darbietung (a priori) präsentierten Antwortalternativen in geschlossenen Testverfahren im Vergleich zur offenen Präsentation der Testwörter ohne Antwortalternativen ergeben, wird in der vorliegenden Arbeit untersucht.

Wichtige, bei der Durchführung und quantitativen Auswertung von sprachaudiometrischen Untersuchungen verwendete Begriffe werden im Folgenden näher erläutert.

Offene und geschlossene Testverfahren:

Man spricht von einem offenen Testverfahren, wenn die akustisch über Lautsprecher oder Kopfhörer dargebotenen Sätze, Wörter oder Silben frei von der Testperson durch Nachsprechen wiedergegeben werden, d.h. der Hörer hat keinerlei Hilfestellung zur Erkennung der akustischen Spracheinheiten in Form von Zusatzinformation zur Eingrenzung des Sprachmaterials oder eines vorliegenden Text- oder Bildmaterials mit Antwortalternativen. Es wird der Testperson kein Pool an Wörter vorgegeben, aus welchem sie das Testwort auswählen und nennen kann (Mrowinski et al. 2017, S.66).

Bei der geschlossenen Variante hingegen liegt schon vor der akustischen Präsentation eines Testwortes eine Auswahlmenge an Text- oder Bildvorlagen vor und die Testperson kann / soll sich vor Erklängen des Testwortes über die Antwortalternativen informieren. Der Proband besitzt somit *a priori* Kenntnisse über mögliche Testwörter und kann das vorgeschprochene Wort durch einfaches Zeigen oder Markieren aus den Antwortalternativen wählen (Mrowinski et al. 2017, S.66).

SNR: Signal-Rausch-Verhältnis (von engl. Signal-to-Noise-Ratio).

Das Sprachverstehen ist bei sprachaudiometrischen Untersuchungen im Störlärm abhängig von der Differenz zwischen dem Sprachschallpegel und dem Störschallpegel. Dieser Abstand wird als Signal-Rausch-Verhältnis, kurz SNR bezeichnet (Böhme und Welzl-Müller 2005).

SRT: Sprachverständlichkeitsschwelle (von engl. Speech-Reception-Threshold).

Damit wird in der Regel bei sprachaudiometrischen Untersuchungen derjenige Sprachpegel bei Präsentation in Ruhe oder der Signal-Rausch-Abstand bei Messungen im Störgeräusch bezeichnet, bei dem von der Testperson genau 50% des Testmaterials richtig verstanden werden (Böhme und Welzl-Müller 2005). Auch andere Zielverständlichkeiten können als Sprachverständlichkeitsschwelle bezeichnet werden, deren Höhe muss dann aber extra angegeben werden.

### **1.5 Der Oldenburger Kinderreimtest im Störgeräusch**

Der Oldenburger Kinderreimtest (OLKI) wird in dieser Untersuchung als Testverfahren zur Bestimmung des Kontexteffektes durch Bild- oder Wortvorlagen verwendet, die vor der akustischen Wortpräsentation vorgelegt werden. Dazu werden normalhörende junge erwachsene Testpersonen als optimale Sprachverarbeiter herangezogen.

Der OLKI wurde aus dem Zweisilbertest von Kliem und Kollmeier (1995) durch Reduzierung der Testworte anhand des kindlichen Wortschatzes von Vorschulkindern entwickelt und mit Bildvorlagen als Auswahlmöglichkeiten in einem geschlossenen Testverfahren ergänzt (Brand und Achtzehn et. al 1998). Es handelt sich um einen Hörtest für Kinder im Grundschulalter, optimiert im Hinblick auf eine hohe Praktikabilität und Genauigkeit. Steffens (Steffens 2007) listet folgende hervorhebenden Eigenschaften des OLKI auf:

Alle verwendeten Wörter des Tests sind zweisilbig, da Zweisilber die häufigste Wortart der deutschen Sprache darstellen (Menzerath 1954).

Die Kinder wählen das Zielwort aus drei lautähnlichen Antwortalternativen, sogenannten Reimwörtern aus, welche sich nur in einem Laut unterscheiden (siehe Tabelle 2).

Die drei Antwortalternativen sind jeweils bildlich dargestellt und ermöglichen so den Kindern ein sprachfreies Zeigen der Antwort.

Das Wort wird durch den Satz „Bitte zeige das Bild ...“ vom Sprecher angekündigt. Dadurch ist den Kindern die Stimme des Sprechers bereits vertraut und sie sind auf den Beginn des Testwortes vorbereitet und konzentriert.

Alle Testlisten weisen einen homogenen Schwierigkeitsgrad auf (Brand et al. 1999).

Sprachmaterial des Oldenburger Kinder-Reimtest.		
Anlautteil Konsonanten	Inlautteil Konsonanten	Inlautteil Vokale
Decke -Hecke -Säcke Dose -Rose -Hose Matte -Watte -Ratte Sonne -Tonne -Nonne Gabel -Kabel -Nabel Eule -Keule -Beule Locke -Socke -hocke Nase -Vase -Hase Kessel -Sessel -Fessel Wale -male -Schale Wanne -Tanne -Kanne	Tasse -Tasche -Tanne Schiene -schiele -schieße Waage -Vase -Wale Haaren -Hafen -Hasen Kanne -Karre -Kappe Kelle -Kämme -Kette Bohnen -bohren -Booten Bluse -Blume -blute Beine -beiße -Beile Beeren -beten -Besen Schlafen -schlagen -Schlangen	Wale -Welle -Wolle Rasen -Riesen -Rosen brate -Brote -brüte Locke -lecke -Luke fallen -Fohlen -fällen Schale -schiele -Schule Sahne -Sonne -Söhne

Tabelle 2: Wortinventar OLKI (Steffens 2007, S. 7)

2003 wurde der OLKI von Steffens durch ein sprachsimulierendes Störgeräusch ergänzt und akustisch überarbeitet. Bei der dadurch entstandenen Regensburger Variante des OLKI wurden die Sprachpegel der Testwörter auf einen gemeinsamen Wert angeglichen, die in der Originalversion noch größere Pegelsprünge aufwiesen, sodass der Test im Störgeräusch mit demselben SNR für jedes Testwort angewendet werden konnte. Als Störgeräusch wurde ein sprachsimulierendes Rauschen mit vollständiger spektraler Maskierung der Zielwörter eingefügt (Steffens 2003).

Die Auswahloptionen in einem geschlossenen Testverfahren vereinfachen der Testperson die richtige Angabe des Zielwortes, da sie eine a priori Information über

das vor der Präsentation unbekannte Zielwort geben. Da sich die Reimwörter nur in einem Laut unterscheiden, stellen die Auswahloptionen gleichzeitig auch eine Kontextinformation dar, die bei entsprechender Fähigkeit und entsprechender Instruktion genutzt werden kann. Anstelle aller oder zumindest mehrerer in einem Testwort enthaltenen Laute reicht mit der a priori Information die Identifizierung des einzelnen, zwischen den Antwortalternativen divergierenden Lautes zur korrekten Worterkennung aus.

## **1.6 Fragestellung und Zielsetzung**

Die vorliegende Arbeit untersucht, wie sich der mathematische Kontexteinfluss bei den Testwörtern des Oldenburger Kinderreimtests zwischen der offenen und geschlossenen Darbietung unterscheidet.

Dazu werden die k- und j-Faktoren von Boothroyd (1978) anhand der Sprachverständlichkeitsquoten von normalhörenden Studierenden bei verschiedenen SNRs bei offener und geschlossener Präsentation ermittelt. Ursprünglich gibt der k-Faktor die Anzahl von Sprachinformationskanälen an, die neben den lautspezifischen und semantischen Informationen jedes Wortes zur richtigen Identifikation der Wörter in einem Satz beitragen. Diese setzen sich bei sinnvollen und korrekt formulierten Sätzen zusätzlich aus Informationen durch den semantischen, syntaktischen und grammatikalischen Kontext eines Satzes zusammen. Für einen Satz innerhalb eines Gespräches kommt dazu noch der thematische Kontext hinzu, denn durch das Thema, zu dem ein Gespräch geführt wird, können sich weitere Informationen zu bestimmten Wortfamilien und Begriffen ergeben, die zur Wortidentifikation nützliche a-priori Informationen beitragen. In der vorliegenden Arbeit wird der aus der Informationstheorie stammende Begriff „Informationskanäle“ in einem erweiterten Sinne als sprach- und (neu) methodenspezifische Informationsquellen interpretiert und damit besser auf die sprachaudiometrischen Untersuchungsmethoden angepasst. Bei der hier untersuchten Anwendung des OLKI als geschlossenes Verfahren stellt die vor jeder akustischen Präsentation erfolgende Bekanntgabe der drei Alternativwörter eine zusätzliche Informationsquelle dar, die wesentlich zur richtigen Testwortidentifikation beitragen kann. Um Probleme einer fehlerhaften

Interpretation der Bildvorlagen zu vermeiden, die zu anderen Wortassoziationen als den vorgegebenen Testwortalternativen im sprachverarbeitenden auditorischen System der Testperson führen könnten, werden die Antwortalternativen schriftlich angegeben. Der j-Faktor wird wie im ursprünglichen Sinne auch hier zur Bemessung des Laut- und Silbenkontext in einem Wort verwendet.

Es stellt sich nun im Vergleich der Testergebnisse zwischen der offenen und geschlossenen Präsentation des OLKI die Frage, ob und in welcher Höhe im Vergleich mit der offenen Präsentation der Testwörter die geschlossene Variante zusätzliche Informationsquellen im Sinne von Kontexteffekten über die a priori Wortinformation durch die Bild- bzw. Wortvorlagen bietet, die mit den k- und j-Faktoren erfasst werden könnten.

## Hypothesen

Durch a priori Wissen über Testwörter in Form von Antwortalternativen in geschlossenen Testverfahren verringert sich die zur Wortidentifikation nötige Anzahl von Lauten oder Silben in einem Wort auf die Sprachelemente, durch die sich die Antwortalternativen unterscheiden. Dadurch sollte die Höhe des Einzelementkontexteffektes von der vollständigen Anzahl an Lauten oder Silben auf einen perzeptiv notwendigen geringeren Wert sinken.

In dieser Arbeit wird die Fragestellung untersucht, welchen Einfluss auf den phonetisch-phonologischen Laut- und Silbenkontext bei der Wortidentifikation in einem offenen Testverfahren eine vor der akustischen Präsentation (a priori) erfolgende schriftliche Vorlage von drei Testwörtern als Antwortalternative in einem geschlossenen Testverfahren ausübt, die sich nur um einen Laut unterscheiden und aus denen das jeweilige akustisch präsentierte Zielwort ausgewählt werden muss.

Die Identifikation des Zielwortes aus den drei Wortalternativen der Vorlage kann hier einerseits mit der Identifikation eines Wortes aus einem Satz verglichen und mit Hilfe des k-Faktors quantitativ untersucht werden. In beiden Fällen wird der Kontext zwischen den Einzelworten genutzt. Bei der hier verwendeten Wortvorlage wird allerdings nicht eine semantische oder syntaktische Schlussfolgerung von den vorhergehenden Wörtern auf das folgende Wort wie bei einem sinnvollen Satz ausgenutzt. Die Wortvorlage kann bei schwierigen Hörbedingungen in einem

Ausschlussverfahren durch Erkennung der beiden nicht mit dem Zielwort identischen Wörter die Auswahlwahrscheinlichkeit des Zielwortes erhöhen.

Andererseits könnte sich der Kontexteffekt durch die Antwortalternativen, die sich nur in einem Laut unterscheiden (z. B. Riesen – Rasen – Rosen) auf die zur richtigen Testworterkennung nötige Anzahl von phonetischen Grundbausteinen (Silben und Laute) auswirken. In diesem Falle beschreibt der j-Faktor den quantitativen Kontexteffekt innerhalb eines Wortes. Bei idealer Ausnutzung der a priori Information sollte nur die richtige Identifizierung des einzelnen Lautes, um den sich die Testwortalternativen unterscheiden oder der einzelnen Silbe, die diesen Laut enthält, ausreichen.

Ziel dieser Untersuchung ist deshalb die Berechnung und der Vergleich der k- und j-Faktoren bei offener und geschlossener Präsentation der Testwörter des OLKI im Störgeräusch. Ein Kontexteffekt durch die begrenzte Anzahl von drei Antwortalternativen sollte sich in einer Änderung von k und j niederschlagen.

Somit lassen sich für diese Untersuchung drei Hypothesen formulieren:

1. Ein Kontexteffekt durch die schriftliche a priori Bekanntgabe der drei Testwörter, die sich nur um einen Laut unterscheiden und aus denen ein Zielwort ausgewählt wird, sollte sich durch eine Erhöhung der Sprachverständlichkeit bei geschlossenem Testverfahren gegenüber dem offenen Verfahren zeigen.
2. Da sich durch die a priori Bekanntgabe die Auswahlmöglichkeit eines Testwortes auf die drei Antwortalternativen reduziert, sollte sich die Wahrscheinlichkeit der Testworterkennung in der geschlossenen Darbietung unter nicht optimalen Hörbedingungen gegenüber der offenen Darbietung erhöhen, weil eine vergleichbare Hilfestellung wie die semantische und syntaktische Beziehung zwischen den Wörtern eines sinnvollen Satzes hier durch die zusätzliche Informationsquelle der a priori Bekanntgabe der Antwortalternativen im Sinne einer Kontextinformation besteht. Dadurch sollten sich die j-Faktoren der Wörter bei geschlossener gegenüber offener Präsentation verringern.

3. Da sich die Antwortalternativen im OLKI nur durch Veränderung bei einem Laut unterscheiden und damit allein die richtige Erkennung dieses Lautes im Zielwort schon zu einer richtigen Antwort führen kann, sollte sich der j-Faktor des Laut- und Silbenkontexts bei geschlossener Darbietung der Testwörter verringern.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Versuchsteilnehmer

Die Studie wurde an insgesamt 40 Teilnehmern durchgeführt, 15 Männer und 25 Frauen. Es handelte sich ausschließlich um Studierende der Universität Regensburg. Die Probanden waren zwischen 22 und 33 Jahre alt und allesamt muttersprachlich deutsch. Nach eigener Aussage lagen bei keinem Teilnehmer Hörprobleme vor. Um dennoch sicher eine Hörstörung auszuschließen, wurde jeweils unmittelbar vor der Durchführung des Tests ein Tonaudiogramm im Bereich von 125 Hz - 8000 Hz angefertigt. Eine Abweichung von 20 dB oder mehr von der Normalhörenden-Hörschwelle hätte die Probanden vom Versuch ausgeschlossen. Dies war bei keinem Teilnehmer der Fall. Die Teilnehmer erhielten eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 10 €.

### 2.2 Sprachmaterial des OLKI

Als Sprachmaterial wurde der Oldenburger Kinderreimtest verwendet. Er beinhaltet 10 Testlisten à 12 Wörter, ausschließlich Substantive und Verben, die keine semantische Gemeinsamkeit aufweisen. Die Wörter bestehen jeweils aus zwei Silben und 3 bis 7 Lauten. Sie werden von einer Männerstimme mit der Ankündigung: „Bitte zeige das Bild...“ vorgelesen. Trotz des immer gleichen Ankündigungssatzes ist der OLKI ein Einzelworttest, sodass er deshalb keinen linguistischen oder semantischen Kontext zwischen den Wörtern eines Satzes beinhaltet. Tabelle 3 zeigt die erste Testwortliste des OLKI.

Säcke	Hose	Schale	schlagen	Eule	blute
Tanne	Karre	Wale	brüte	Locke	fallen

*Tabelle 3: Oldenburger Kinderreimtest Liste 1*

Alle Testlisten weisen (bei korrekter Bildidentifikation) einen homogenen Schwierigkeitsgrad auf (Brand et al. 1999). Zu jedem Zielwort gibt es zusätzlich zwei

ähnlich klingende Antwortalternativen, so genannte Reimwörter, deren Unterschied nur in einem Laut, entweder im Anlaut, Inlautkonsonant oder -vokal liegt (siehe Tabelle 2). Der OLKI gibt pro Testwort drei Alternativwörter in Form von Bildern zur Auswahl, von denen das Bild ausgewählt bzw. angezeigt werden soll, dass das Zielwort richtig darstellt. Durch das Zeigen auf ein Bild entfällt das Aussprechen der Antwort (obwohl Nachsprechen nicht ausgeschlossen ist), dadurch werden Fehlinterpretationen des Testleiters aufgrund von Aussprachefehlern vermieden (Steffens 2007).

Da es sich bei den Teilnehmern dieser Studie um Erwachsene handelte, die nicht auf die bildliche Darstellung angewiesen waren, wurden zur Vermeidung von Bildinterpretationsfehlern die drei Bilder als Wörter ausgeschrieben. Abbildung 4 zeigt drei Bildvorlagen mit jeweils drei Wortalternativen, wie sie ursprünglich im OLKI verwendet werden und wie sie in der vorliegenden Studie in schriftliche Wortvorlagen (Tabelle 4) umgewandelt und angewandt wurden.



Abbildung 4: Beispiel für 3 verschiedene Bildvorlagen des OLKI (Wagener et al. 2006)

Beule	Tanne	Brote
Keule	Tasse	brüte
Eule	Tasche	brate

*Tabelle 4: Umwandlung der jeweils drei Testwörter des Bildmaterials aus Abbildung 4 in die schriftlichen Auswahlwörter, wie sie in der vorliegenden Untersuchung angewandt wurden*

Der Test wurde in der von Steffens modifizierte Regensburger Variante im Störgeräusch durchgeführt (Steffens 2003).

Bei dem Störgeräusch wurden das stationäre, amplituden- und frequenzunmodulierte sprachsimulierende Rauschen nach ICRA1 (International Collegium on Rehabilitative Audiology) verwendet. Dieses wurde so kalibriert, dass sich über alle Testwörter ein konstantes Signal-Rauschverhältnis ergeben hat, das die Spitzenpegel der Testwörter gerade verdeckt und eine vollständige spektrale Maskierung der Zielwörter bewirkt.

### **2.3 Durchführung**

Die Tests fanden allesamt in einem schallgedämpften Audiometrieräum in der HNO-Klinik des UKR statt.

Vor Beginn des eigentlichen Tests wurde mittels Kopfhörer ein Tonaudiogramm des rechten Ohrs der jeweiligen Testperson angefertigt. Auch der darauffolgende Oldenburger Kinderreimtest wurde monaural am rechten Ohr mit Kopfhörer durchgeführt. Sprache und Störgeräusch kamen dabei aus demselben Kopfhörer.

Den Probanden wurde der Ablauf erklärt, bei dem auch in der geschlossenen Darbietung eine verbale Antwort gegeben werden soll. Es wurde eingehend darauf hingewiesen alle Testwörter so nachzusprechen, wie sie gehört wurden und nicht zu raten. Somit konnte bei der Auswertung der Tests die Ratewahrscheinlichkeit vernachlässigt werden.

Es wurde mit den Testlisten 1-5 in der offenen Variante begonnen, die Testwörter wurden dem Hörer also ohne Vorliegen der drei Auswahlmöglichkeiten vorgespielt.

Die Veränderung des SNR wurde ausschließlich durch Erhöhung des Geräuschpegels vorgenommen, der Sprachpegel blieb während des gesamten Tests bei 65 dB SPL. Die Teilnehmer 1-6 wurden bei SNRs von 5 dB, 0 dB, -3 dB, -6 dB und -9 dB getestet. Nach den ersten 6 Testpersonen zeigte sich, dass die Sprachverständlichkeit der Wörter schon bei einem SNR von -6 dB grenzwertig niedrig war, sodass der SNR-Bereich ab Teilnehmer 7 auf die SNRs 5 dB, 0 dB, -2 dB, -4 dB und -6 dB angepasst wurde.

Bei der darauffolgenden Durchführung der geschlossenen Variante wurden die Testlisten 6-10 den Teilnehmern jeweils mit den drei Auswahlwörtern vorliegend vorgespielt. Die Probanden wurden auch bei dieser Variante noch einmal ausdrücklich gebeten nicht zu raten und genau das Gehörte wiederzugeben, auch wenn es nicht bei den drei vorgegebenen Auswahlwörtern dabei war. Nach Teilnehmer 1 wurden die SNRs von 5 dB, 0 dB, -3 dB, -6 dB und -9 dB auf 0 dB, -3 dB, -6 dB, -9 dB und -12 dB geändert, da hier das SNR von -9 dB zu einfach erschienen. Außerdem wurde nach den ersten 6 Teilnehmern die SNR für die Testlisten 6 und 7 getauscht, da die Testwörter der Liste 7 leichter verständlich erschienen.

Die Auswertung erfolgte sowohl auf der Basis richtig angegebener Einzelworte als auch richtig angegebener Silben und Laute. Dazu wurden sowohl die richtig angegebenen Einzelwörter als auch die damit verbundene Anzahl an Silben und Lauten gezählt. Im Fehlerfall, wenn ein Wort falsch angegeben wurde, wurde die dennoch richtige Anzahl von Silben und Lauten ermittelt. Da es auch vorkommen kann, dass unter schwierigen SNR-Bedingungen einem nur teilweise erkennbaren Testwort ein weiterer Laut hinzugefügt wird, wenn sich damit ein ähnliches Wort bilden lässt, wurden solche Angaben als falsches Wort aber mit richtiger Silben- und Lautauswertung registriert.

Angewandte Geräte:

- Kopfhörer: HDA 200 Sennheiser
- Audiometer: Otometrics Astera, Seriennummer 446424

## 2.4 Dokumentation der Ergebnisse und Auswertung

Zusätzlich zum Tonaudiogramm der jeweiligen Versuchsperson wurden folgende Daten schriftlich auf den zum OLKI vorgefertigten Listen festgehalten:

- Datum der Durchführung
- Verschlüsselte Daten der Versuchsperson (Nummer und Geburtsdatum)
- Richtig und falsch verstandene Wörter, Silben, Laute
- Markierung offene oder geschlossene Präsentation
- Die erreichte prozentuale Verständlichkeit der Wörter, Silben und Laute in den einzelnen Testlisten
- Das jeweils eingestellte Signal-Rauschverhältnis (SNR).

## 2.5 Fitfunktionen

Nach einer Überprüfung der Daten auf statistische Ausreißer mithilfe des Grubbs-Tests wurden diese im ursprünglichen Datensatz markiert und nicht weiter für die Berechnungen und Darstellungen benutzt. Mithilfe von Sigmaplot 13.0 wurden die Berechnungen aller Fitfunktionen durchgeführt.

### Sprachverständlichkeit

Als Modellfunktion der Sprachverständlichkeit wurde nach einem Vergleich mit verschiedenen Fitfunktionen die Gompertz-Funktion aufgrund der besten Anpassung an die Daten verwendet:

$$SVI(SNR) = max * e^{-e^{-\frac{x_0 - SNR}{b}}} \quad (8)$$

Dabei bestimmt der Funktionsparameter max die maximale Sprachverständlichkeit. Aufgrund der Erkenntnisse aus laboreigenen vorangegangenen Untersuchungen mit dem OLKI ist bekannt, dass junge Normalhörende bei genügend großem SNR (+30 dB) für die Wörter aus dem Wortschatz der Vorschulkinder eine Sprachverständlichkeit von 100% erreichen können. Deshalb wurde für die normalhörenden Versuchspersonen dieser Arbeit der Parameter max = 1 gesetzt. Die Angaben der prozentualen Sprachverständlichkeit erfolgt mathematisch als

Sprachverständlichkeitsindex (SVI) zwischen 0 und 1, beide Begriffe werden des Weiteren synonym verwendet.

In der Gompertz-Funktion beschreibt  $x_0$  den Wendepunkt, der anders als in der häufig verwendeten Sigmoidalfunktion nicht die Sprachverständlichkeitsschwelle bei 50 % beschreibt, sondern bei einer Sprachverständlichkeit von etwa 37 % liegt. Der Parameter  $b$  bestimmt die Steilheit der Funktion am Wendepunkt  $x_0$ . Die Steigung  $m$  erreicht dort ihr Maximum und ergibt sich aus dem Steilheitsparameter  $b$  mit  $\max = 1$  zu:

$$m = \frac{1}{e * b} \quad (9)$$

Die Sprachverständlichkeitsschwelle SRT als das SNR für eine Verständlichkeit von 50 % ergibt sich durch Umformung von (8) nach mit  $SVI = 0,5$  zu:

$$SRT = x_0 - b * \ln \left( - \ln \left( \frac{1}{2 * \max} \right) \right) \quad (10)$$

Die Steigung  $m(SRT)$  am Punkt SRT berechnet sich durch die Ableitung der Gleichung (10) zu:

$$m(SRT) = \frac{\max * e^{-e^{-\left(\frac{SRT-x_0}{b}\right)}} * e^{-\frac{SRT-x_0}{b}}}{b} \quad (11)$$

Der mathematische Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit der Wörter, Silben und Laute in der offenen und geschlossenen Darbietung wird mithilfe der Fletcher-Galt-Funktion mit den Parametern  $Q$  und  $N$  dargestellt, mit der die Daten am besten angepasst werden konnten (Fletcher, H., & Galt, R. H. 1950):

$$f(x) = \left( 1 - 10^{-\frac{x}{Q}} \right)^N \quad (12)$$

#### Berechnung des j-Faktors

Mit der Potenzfunktion der Gleichung (6) erfolgt sowohl die Darstellung der wechselseitigen Zusammenhänge zwischen den Sprachverständlichkeiten für Laute

und Silben jeweils als untergeordnete Spracheinheiten ( $SVI_{\text{unter}}$ ) zu Silben und Wörter als übergeordnete Spracheinheiten ( $SVI_{\text{über}}$ ), die getrennt für die offene und geschlossene Präsentation ermittelt werden, nach Boothroyd und Nittrouer (1988). Dabei entspricht der Exponent dem j-Faktor:

$$SVI_{\text{über}} = SVI_{\text{unter}}^j \quad (13)$$

Boothroyd und Nittrouer (1988) geben ein zweites Verfahren zur Bestimmung des j-Faktors auf Basis des Vergleichs der Einzelmessungen der Sprachverständlichkeit von Wörtern, Silben und Lauten an, das sowohl bei offener als auch bei geschlossener Präsentation zur Anwendung kommt. Dabei wird analog zur Gleichung (7) j durch Umstellen der Gleichung (13) für jede einzelnen Sprachverständlichkeitsmessung berechnet und der Mittelwert gebildet:

$$j = \frac{\log(SVI_{\text{über}})}{\log(SVI_{\text{unter}})} \quad (14)$$

#### Berechnung des k-Faktors

In ähnlicher Weise erfolgt die Berechnung des k-Faktors. Boothroyd und Nittrouer (1988) geben mit den Gleichungen (3) und (4) zwei Berechnungsverfahren vor, in denen k aus der Sprachverständlichkeit bei offener Präsentation ohne Kontext und der Sprachverständlichkeit mit Kontext, also bei geschlossener Präsentation, berechnet wird. Zuerst kann der k-Faktor als Exponent bestimmt werden:

$$SVI_{\text{geschlossen}} = 1 - (1 - SVI_{\text{offen}})^k \quad (15)$$

Die zweite Möglichkeit sieht ähnlich wie beim j-Faktor die Berechnung von k als Quotient vor:

$$k = \frac{\log(1 - SVI_{\text{geschlossen}})}{\log(1 - SVI_{\text{offen}})} \quad (16)$$

Entsprechend den Methoden von Boothroyd und Nittrouer (1988) ist bei der Berechnung von  $j$  und  $k$  einerseits darauf zu achten, dass nur Sprachverständlichkeiten bei gleichem SNR, also gleichem Schwierigkeitsgrad zur Berechnung mit (14) und (16) verwendet werden. Andererseits sollen zur Berechnung der  $k$ - und  $j$ -Faktoren nach (14) und (16) nur Werte des Sprachverständlichkeitsindex zwischen 0,05 - 0,95 einbezogen werden, um die Ungenauigkeiten durch Sättigungs- und Bodeneinflüsse der Sprachverständlichkeit möglichst gering zu halten. Die geringsten Einflüsse der zufälligen Ergebnisstreuung auf die  $j$ - und  $k$ -Berechnungen nach (14) und (16) treten dann auf, wenn an Stelle der Einzelmesswerte die Werte der Sprachverständlichkeit bei gleichem SNR aus den Diskriminationsfunktionen verwendet werden, weil diese als Ausgleichsfunktionen durch die Messwerteschar eine streuungsfreie Berechnung ermöglichen. Deshalb werden bei der Berechnung der Exponenten in (13) und (15) alle ausreißerbereinigten Einzelwerte der Sprachverständlichkeiten, zur Berechnungen nach (14) und (16) die Werte der Sprachverständlichkeiten aus den Diskriminationsfunktionen verwendet.

## 2.6 Statistische Auswertung

Für alle statistischen Auswertungen wurde das Signifikanzniveau auf  $p \leq 0,05$  festgelegt. Zur Analyse der Daten auf statistisch signifikante Ausreißer wurde online-Version des Grubbs-Tests (GraphPad Software, San Diego) verwendet (<https://www.graphpad.com/quickcalcs/grubbs2/>).

Zur Analyse der statistischen Signifikanz von Mittelwertunterschieden in der Sprachverständlichkeit zwischen offener und geschlossener Präsentation wurde der Shapiro-Wilk-Test zur Frage der Normalverteilung der Testergebnisse verwendet und wenn nicht alle Ergebnisgruppen normalverteilt sind, sollte der Mann-Whitney-U Test zur parameterfreien Analyse verwendet werden, anderenfalls ein t-Test.

Mit Hilfe einer Varianzanalyse (ANOVA) wurden Mittelwertunterschiede für  $k$  und  $j$  auf Signifikanz überprüft. Da die Sprachverständlichkeitsmessungen zur Berechnung von  $k$  und  $j$  für Laute, Silben und Wörter bei jeder Versuchsperson bei mehreren SNR durchgeführt wurden, kommt eine ANOVA für Wiederholungsmessungen zur

Anwendung. Im Falle von nicht normalverteilten Messwerten wird eine ANOVA der Ränge verwendet.

Alle statistischen Auswertungen außer dem Grubbs-Test wurden mit SigmaPlot V14(Systat Software, 2017) durchgeführt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom SNR

Abbildung 5 zeigt die Diskriminationsfunktionen und die mittleren Sprachverständlichkeiten für Wörter, Silben und Laute in der offenen und geschlossenen Darbietung in Abhängigkeit vom SNR (Mittelwert und Standardabweichung). In Tabelle 5 sind die Werte der mittleren Sprachverständlichkeit sowie die einfache Standardabweichung (SD) und die Anzahl an gewerteten Ergebnissen (n) jeweils zu den gemessenen SNRs in der offenen und geschlossenen Darbietung aufgelistet. Die Sprachverständlichkeiten nehmen bei kleiner werdendem SNR kontinuierlich ab, allerdings zeigt sich bei allen drei Spracheinheiten eine Ausnahme bei SNR = -4 dB, bei welchem die Sprachverständlichkeit höher als bei SNR = -3 dB liegt.

SNR offen	SVI	MW	SD	n	SVI	MW	SD	n	SVI	MW	SD	n
	Wörter				Silben				Laute			
5	0,72		0,09	40	0,84		0,07	40	0,95		0,03	40
0	0,55**		0,11	40	0,68**		0,10	40	0,89**		0,05	40
-2	0,46		0,13	34	0,62		0,11	34	0,84		0,06	34
-3	0,29**		0,10	6	0,44**		0,12	6	0,77**		0,06	6
-4	0,45		0,17	34	0,57		0,14	34	0,79		0,08	34
-6	0,16**		0,11	40	0,26**		0,11	40	0,51**		0,12	40
-9	0**		0	6	0,03**		0,04	6	0,25**		0,08	6
SNR geschlossen												
5	1		0	1	1		0	1	1		0	1
0	0,89**		0,07	40	0,94**		0,04	40	0,98**		0,02	40
-3	0,84**		0,07	40	0,92**		0,04	40	0,96**		0,02	40
-6	0,66**		0,14	40	0,82**		0,08	40	0,92**		0,04	40
-9	0,49**		0,12	40	0,68**		0,10	40	0,78**		0,12	40
-12	0,21		0,13	39	0,35		0,19	39	0,46		0,22	39

Tabelle 5 : Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) des Sprachverständlichkeitsindex SVI für Wörter, Silben und Laute bei verschiedenen SNRs bei geschlossenem und offenem Testverfahren, sowie die Anzahl der gewerteten Ergebnisse (n) der Wörter, Silben und Laute. Signifikante Unterschiede zwischen den SVI bei offener und geschlossener Darbietung wurden für die in beiden Präsentationsarten angewendeten SNR (0, -3, -6, und -9 dB) ermittelt und sind mit \* (signifikant  $p \leq 0,05$ ) oder \*\* (hochsignifikant  $p \leq 0,01$ ) gekennzeichnet.

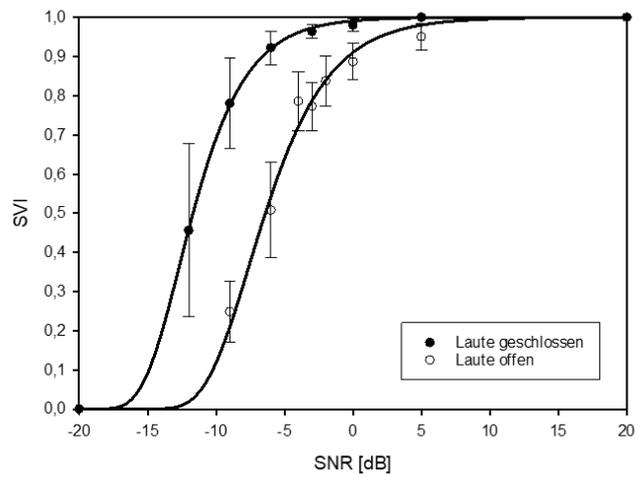
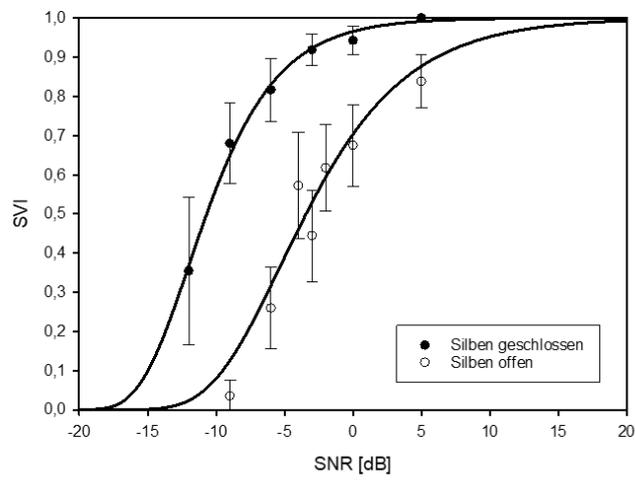
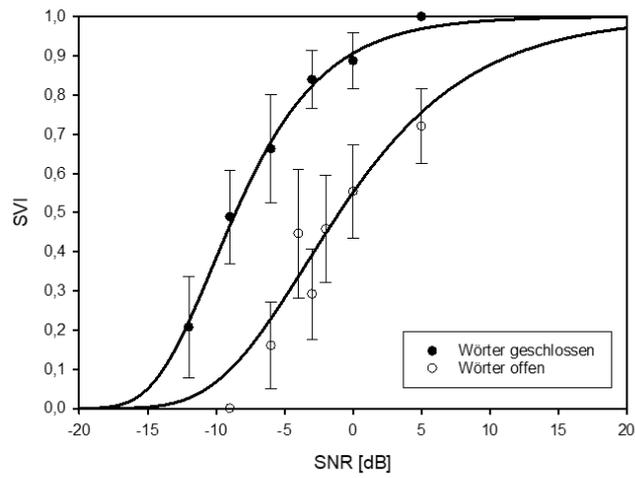


Abbildung 5: Diskriminationsfunktionen der Sprachverständlichkeit für Wörter, Silben und Laute bei offenem und geschlossenem Testverfahren. Die Symbole geben die Mittelwerte mit Standardabweichung der Tab. 5 wieder.

Für die großen Unterschiede der mittleren Sprachverständlichkeit zwischen der offenen und geschlossenen Präsentation ergaben sich für die in beiden Präsentationsarten verwendeten SNR von 0, -3, -6, und -9 dB mit dem Mann-Whitney-U Test (nicht alle Ergebnisse waren normalverteilt) jeweils hochsignifikante Unterschiede.

Tabelle 6 zeigt die berechneten Parameter der in Abbildung 5 dargestellten Diskriminationsfunktionen:

offen	Max	$x_0$ [dB SNR]	b	m [%/dB]	SRT [dB SNR]	$m_{SRT}$ [%/dB]	$R^2$
Wörter	1	-3,4	6,6233	5,6	-1,0	5,2	0,672
Silben	1	-5,3	5,0677	7,3	-3,4	6,8	0,7528
Laute	1	-7,6	3,2022	11,4	-6,4	10,8	0,8336
geschlossen							
Wörter	1	-10,2	4,3903	8,4	-8,6	7,9	0,8404
Silben	1	-12,0	3,5686	10,3	-10,7	9,7	0,8170
Laute	1	-12,7	2,6772	13,7	-11,7	12,9	0,7679

*Tabelle 6: Parameter der Diskriminationsfunktionen der Wörter, Silben und Laute jeweils bei offener und geschlossener Darbietung. SRT und die Steigung am SRT wurden nach Gleichungen (10) und (11) aus den Parametern berechnet.*

Der Maximalwert der Differenz der Sprachverständlichkeit zwischen den Diskriminationsfunktionen der offenen und geschlossenen Darbietung verschiebt sich zusammen mit den SRTs von Wörtern über Silben bis zu Lauten zu immer kleiner werdenden SNRs; bei den Wörtern liegt er bei einem SNR von ca. -3 dB, bei den Silben bei ca. -6 dB und bei den Lauten bei ca. -9 dB.

### 3.2 Zusammenhang der Sprachverständlichkeit für Wörter, Silben und Laute zwischen der offenen und geschlossenen Darbietung

Aus den Verläufen der Diskriminationsfunktionen aus Abbildung 5 lassen sich die funktionellen Zusammenhänge zwischen der Sprachverständlichkeit bei offener und geschlossener Darbietung ermitteln. Der Zusammenhang konnte am genauesten mithilfe der ursprünglich von Fletcher und Galt (1950) vorgeschlagenen und von Studebaker und Sherbecoe leicht erweiterten nichtlinearen Funktion (Gleichung 12) dargestellt werden (Studebaker und Sherbecoe 1991). Im Wesentlichen bestimmt darin der Parameter Q die Steigung, je größer desto flacher, und N verschiebt die Funktion entlang der X- und y-Achse, je größer desto mehr nach oben-rechts. Abbildung 6 zeigt diese funktionellen Zusammenhänge zwischen der Sprachverständlichkeit bei offener und geschlossener Darbietung für Wörter, Silben und Laute durch die Fletcher-Galt-Funktion (12), die Funktionsparameter sind in Tabelle 7 angegeben.

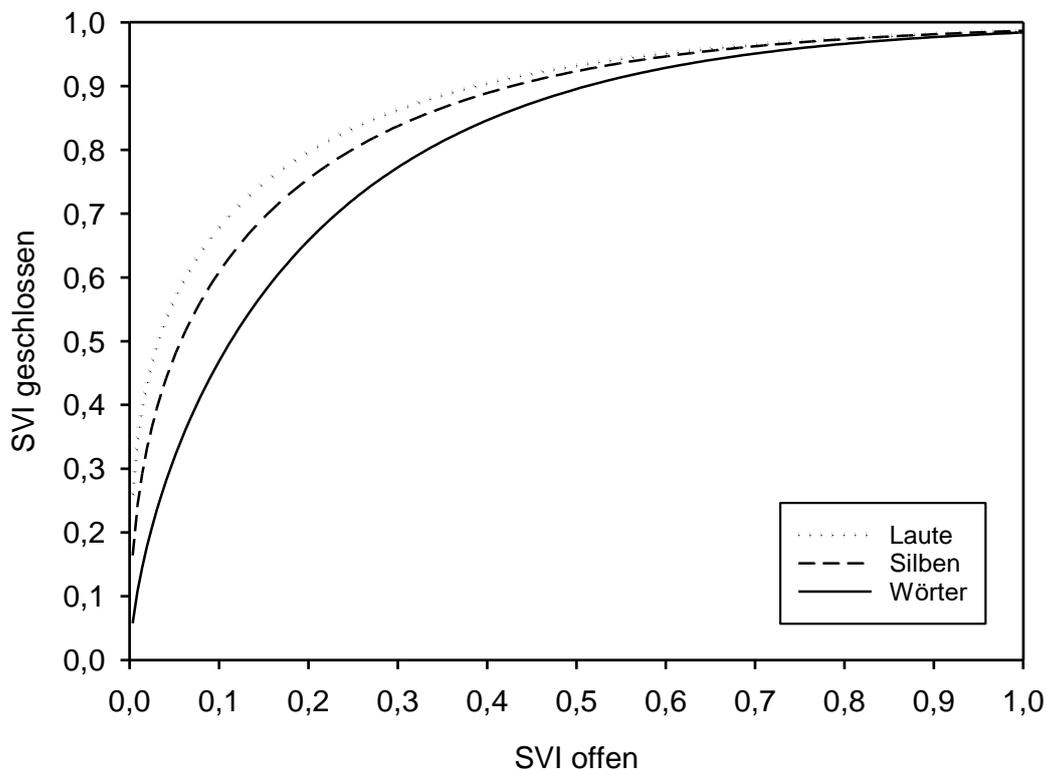


Abbildung 6: Nichtlinearer Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit des offenen und geschlossenen Testverfahrens, jeweils für gleiche Stimuli (Wörter offen vs. Wörter geschlossen, Silben offen vs. Silben geschlossen und Laute offen vs. Laute geschlossen)

	Q	N	R <sup>2</sup>
Wörter	0,6219	0,6462	0,9990
Silben	0,6699	0,4023	0,9996
Laute	0,7454	0,2931	0,9954

Tabelle 7: Parameter der Fletcher-Galt-Funktionen in Abbildung 6

Der Gewinn an Sprachverständlichkeit durch den Kontexteffekt der Wortvorlage in der geschlossenen Darbietung tritt vor allem bei verminderter Hörbarkeit durch ein geringes SNR (Abbildung 7) und der damit verbundenen geringen Sprachverständlichkeit auf (Abbildung 8).

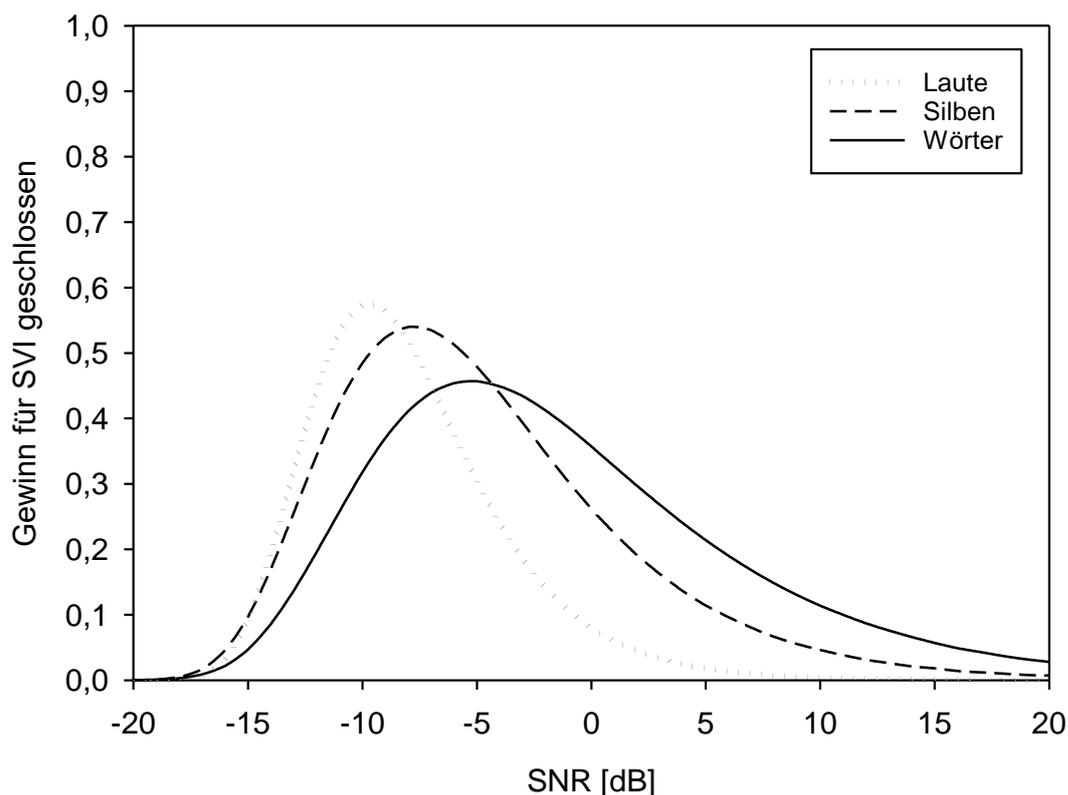


Abbildung 7: Gewinn an Sprachverständlichkeit in der geschlossenen Darbietung gegenüber der schwierigeren offenen Darbietung für Wörter, Silben und Laute in Abhängigkeit des SNR

Da jedes SNR mit einer spezifischen Sprachverständlichkeit verbunden ist, kann der Gewinn durch die geschlossene Präsentation auch in Abhängigkeit der Sprachverständlichkeit in der offenen Präsentation ermittelt werden.

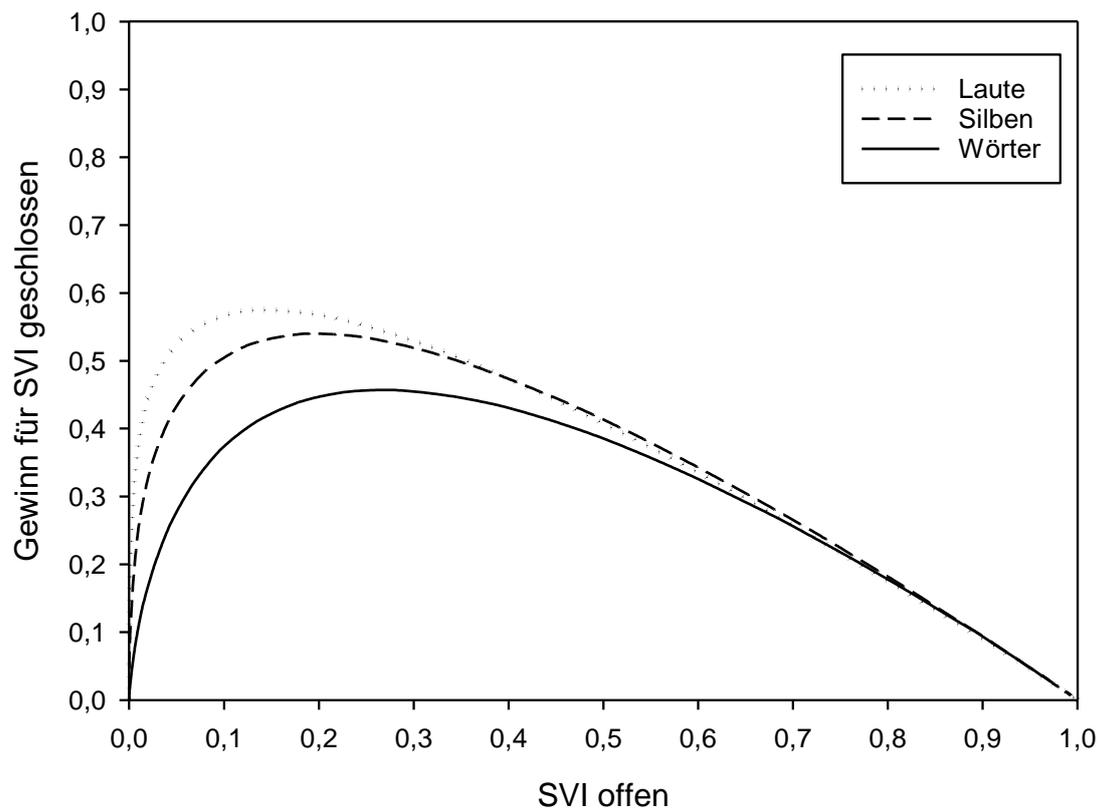


Abbildung 8: Gewinn an Sprachverständlichkeit in der geschlossenen Darbietung gegenüber der schwierigeren offenen Darbietung für Wörter, Silben und Laute in Abhängigkeit der Sprachverständlichkeit bei offener Darbietung

Der Gewinn an Sprachverständlichkeit ist am größten bei der Identifizierung der einzelnen Laute und am geringsten bei der Worterkennung.

	Wörter	Silben	Laute
max. Gewinn	45,7 %-Punkte	54,0 %-Punkte	57,4 %-Punkte
bei SV offen	28 %	18,2 %	12,1 %

Tabelle 8: Maximaler Gewinn an Sprachverständlichkeit in der geschlossenen Darbietung gegenüber der Sprachverständlichkeit bei offener Darbietung (SV offen)

Der funktionelle Zusammenhang der Sprachverständlichkeit zwischen Wörter, Silben und Laute nach (13) wird für die offene Darbietung in Abbildung 9 und für die geschlossene Darbietung in Abbildung 10 dargestellt. Dabei wurden alle zur Verfügung stehenden Sprachverständlichkeitswerte zuvor auf Ausreißer überprüft und der ausreißerbereinigte Datensatz für die weiteren Analysen verwendet.

### **3.3 Ermittlung der Werte der k- und j-Faktoren**

Boothroyd und Nittrouer (1988) geben zwei Verfahren zur Bestimmung der j- und k-Faktoren an, einmal mit Potenzfunktionen nach Gleichung (13) und (15), daneben als Mittelwert aus den Verhältnissen von Einzelwertpaaren der Gleichungen (14) und (16). Zur Erhöhung der Genauigkeit wurde von den Autoren vorgeschlagen, nur Messwerte zwischen 5 % - 95 % zu berücksichtigen. Ergänzend dazu werden in der vorliegenden Arbeit zur Verminderung der Streuung, die den Einzelwerten zugrunde liegt, die Sprachverständlichkeitswerte aus den Diskriminationsfunktionen des Abschnitts 3.1 (Abb. 5 und Tab. 6) verwendet.

Zuerst werden die k- und j-Faktoren als Exponent der Potenzfunktionen nach (13) und (15) aus allen Einzelwerten der Sprachverständlichkeit, die bei gleichem SNR erhoben wurden, berechnet (Tabelle 9). Aufgrund des mit diesem Ansatz sehr eingeschränkten Messwertebereichs, der weit auseinander liegenden Sprachverständlichkeiten bei offener und geschlossener Präsentation und der großen Streuung konnten für die k-Faktoren allerdings keine validen Funktionsparameter berechnet werden. Für die j-Faktoren war dies aber möglich. Die resultierenden Potenzfunktionen der j-Faktoren für offene und geschlossene Präsentation sind in Abbildung 9 und 10 dargestellt, die j-Faktoren in Tabelle 9 aufgelistet.

offen	j	R <sup>2</sup>	n
Laute-Silben	2,55	0,864	93
Silben-Wörter	1,47	0,941	93
Laute-Wörter	4,35	0,798	93
geschlossen			
Laute-Silben	2,18	0,767	93
Silben-Wörter	2,05	0,952	93
Laute-Wörter	4,72	0,744	93

*Tabelle 9: Exponent j der Potenzfunktionen nach (13) für den mathematischen Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit von sprachlichen unter- und übergeordneten Einheiten für alle Messwertepaare bei gleichem SNR, mit R<sup>2</sup> und der Anzahl n an Messwerten.*

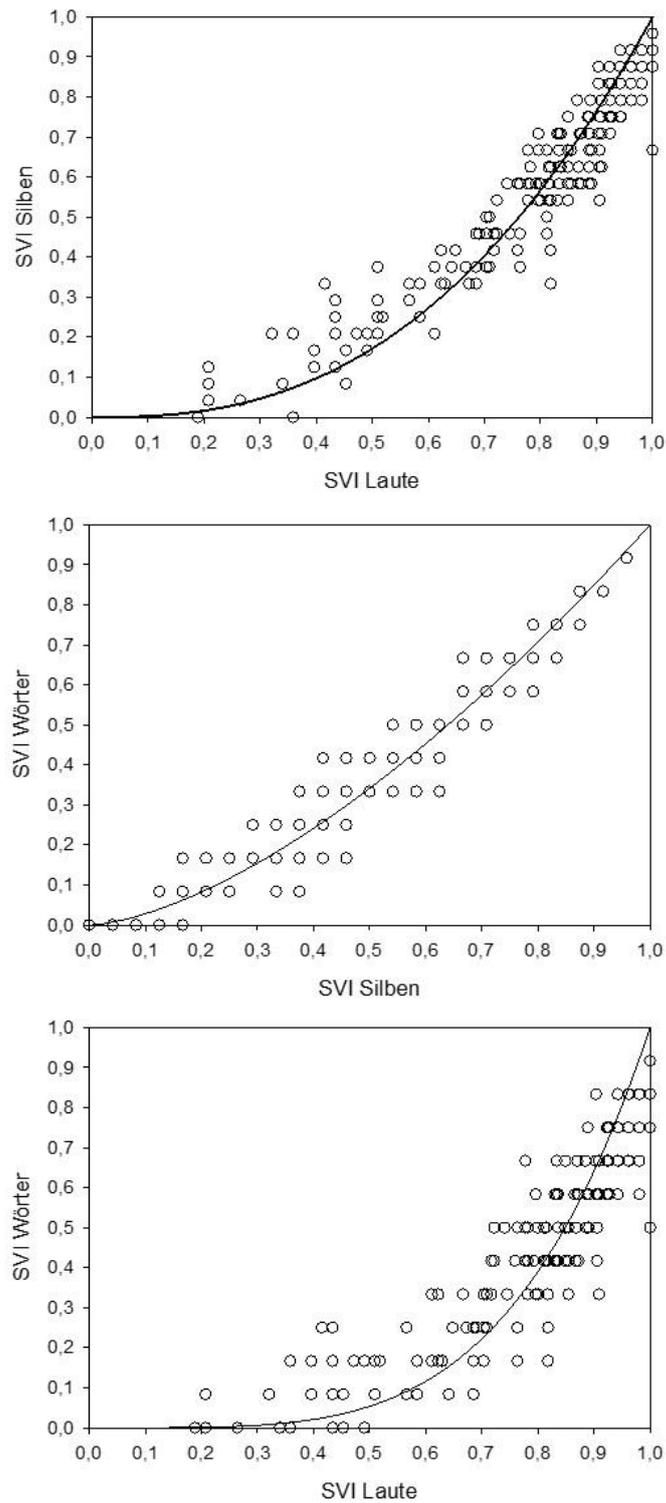


Abbildung 9: Potenzfunktionen der Zusammenhänge zwischen der Sprachverständlichkeit von Lauten und Silben, Silben und Wörter, Lauten und Wörter, jeweils bei offenem Testverfahren

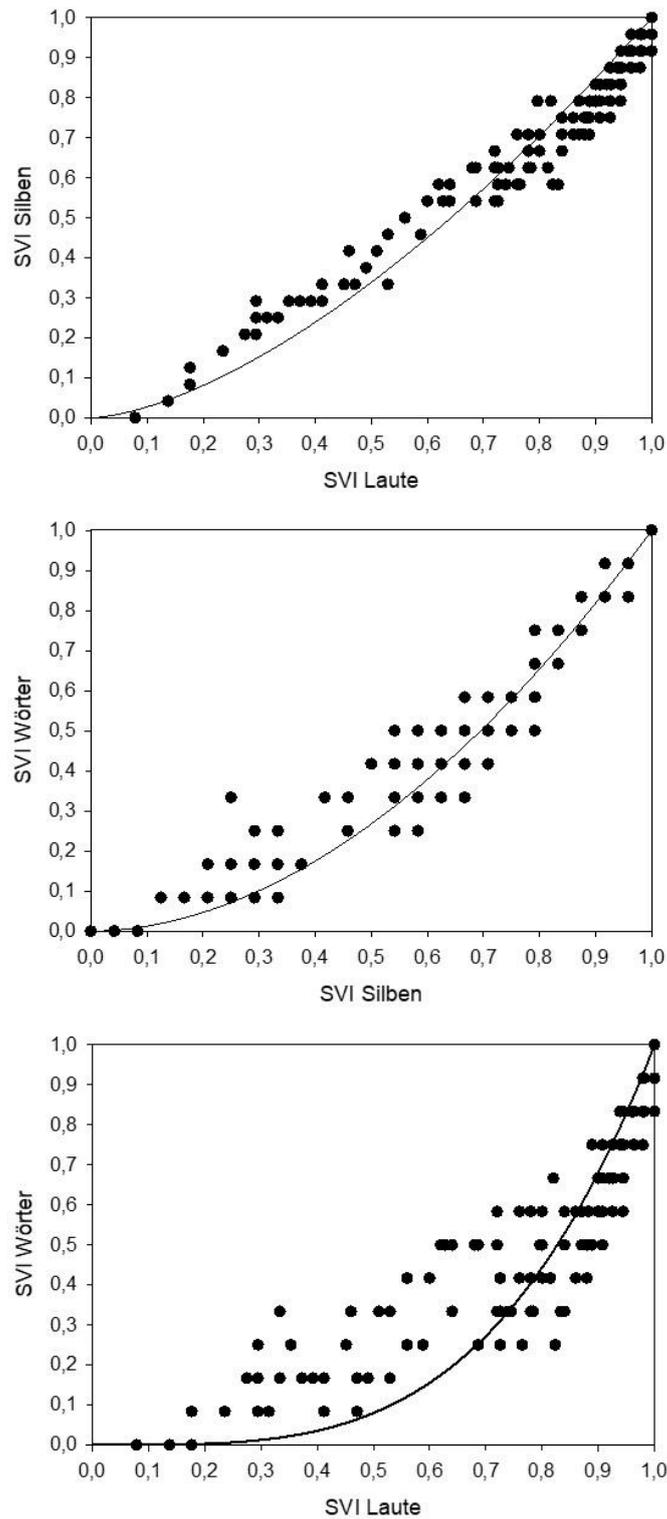


Abbildung 10: Potenzfunktionen der Zusammenhänge zwischen der Sprachverständlichkeit von Lauten und Silben, Silben und Wörter, Lauten und Wörter, jeweils bei geschlossenem Testverfahren

Eine Alternative zur Berechnung der Potenzfunktionen mit den Rohwerten der Sprachverständlichkeitsmessung besteht darin, dass die benötigten Messwertepaare aus den angepassten Diskriminationsfunktionen verwendet werden. Das hat den Vorteil einer erheblichen Reduzierung der Streuung und einer Vervielfältigung der Messwertepaare über den SNR-Bereich hinaus, der praktisch verwendet wurde.

	k	R <sup>2</sup>	n
Wörter	3,52	0,995	41
Silben	4,46	0,998	41
Laute	5,23	0,996	41
offen	j	R <sup>2</sup>	n
Laute-Silben	2,23	0,961	41
Silben-Wörter	1,49	0,982	41
Laute-Wörter	5,36	0,904	41
geschlossen	j	R <sup>2</sup>	n
Laute-Silben	1,31	0,986	41
Silben-Wörter	1,69	0,992	41
Laute-Wörter	2,92	0,964	41

*Tabelle 10: k- und j-Faktoren als Exponenten der Potenzfunktionen (13) und (15) aus den Wertepaaren der Diskriminationsfunktionen*

Im nächsten Schritt erfolgt die Berechnungen der paarweisen Einzelwertverhältnisse der Sprachverständlichkeiten mit Gleichungen (14) und (16). Dabei werden wieder nur die Sprachverständlichkeitswerte berücksichtigt, die bei den einzelnen Versuchspersonen in allen Subtests beim selben SNR gemessen wurden. Für weitergehende statistische Auswertungen zur Frage der Signifikanz von Ergebnisunterschieden sollten aus Genauigkeitsgründen auch mindestens 5 Messungen pro SNR vorhanden sein. Dies war für 92 Datensätze bei 0, -3, -6 und -9 dB SNR der Fall. Da am Ende bei -9 dB SNR für bestimmte k- und j-Faktoren nur noch ein oder zwei Messwerte übrigblieben, wurde entschieden, auf diese wenigen Werte bei -9 dB SNR ganz zu verzichten. Abschließend wurden die Verteilungen der k- und j-Werte wiederum mit Hilfe des Grubbs-Tests auf signifikante Ausreißer überprüft und diese für die Mittelwertberechnung aus dem Datensatz eliminiert.

Tabelle 11 zeigt die Mittelwerte (MW) von k und j, die einfache Standardabweichung (SD) und die Anzahl (n) der in die Berechnung einbezogenen Ergebnisse.

Zur Frage der Signifikanz der in Tabelle 11 erkennbaren Mittelwertunterschiede innerhalb der k- und j-Wertegruppen lässt sich zuerst der Vergleich der 95%-Konfidenzintervalle heranziehen (Abbildung 11). Für die j-Faktoren überschneiden sich die Konfidenzintervalle im Paarvergleich *nicht*, deshalb kann von einem signifikanten Mittelwertunterschied mit  $p \leq 0,05$  ausgegangen werden. Da bei der Überschneidung der 95%-Konfidenzintervalle für die k-Faktoren aber keine präzise Aussage zur Signifikanz getroffen werden kann, wurde anschließend eine ANOVA durchgeführt. Die Prüfung auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab, dass für alle k- und j-Wertegruppen keine Normalverteilung vorlag, deshalb wurde eine ANOVA der Ränge mit Wiederholungsmessung durchgeführt. Eine ANOVA der Ränge für Wiederholungsmessungen ergab wie der Vergleich der Konfidenzintervalle ein signifikant geringeres k für Laute gegenüber Wörter und Silben, zwischen denen kein signifikanter Mittelwertunterschied für k besteht (siehe Anhang 7.3).

k	MW	SD	n
Wörter	5,15	3,72	73
Silben	4,67	2,93	77
Laute	2,77	1,27	72
j offen			
Laute-Silben	2,85	1,03	85
Silben-Wörter	1,47	0,29	80
Laute-Wörter	4,35	1,90	81
j geschlossen			
Laute-Silben	2,66	0,83	74
Silben-Wörter	2,09	0,16	74
Laute-Wörter	5,42	1,79	74

Tabelle 11: Mittelwerte (MW), einfache Standardabweichungen (SD) und Anzahl an gewerteten Ergebnissen (n) zur Berechnung von k und j

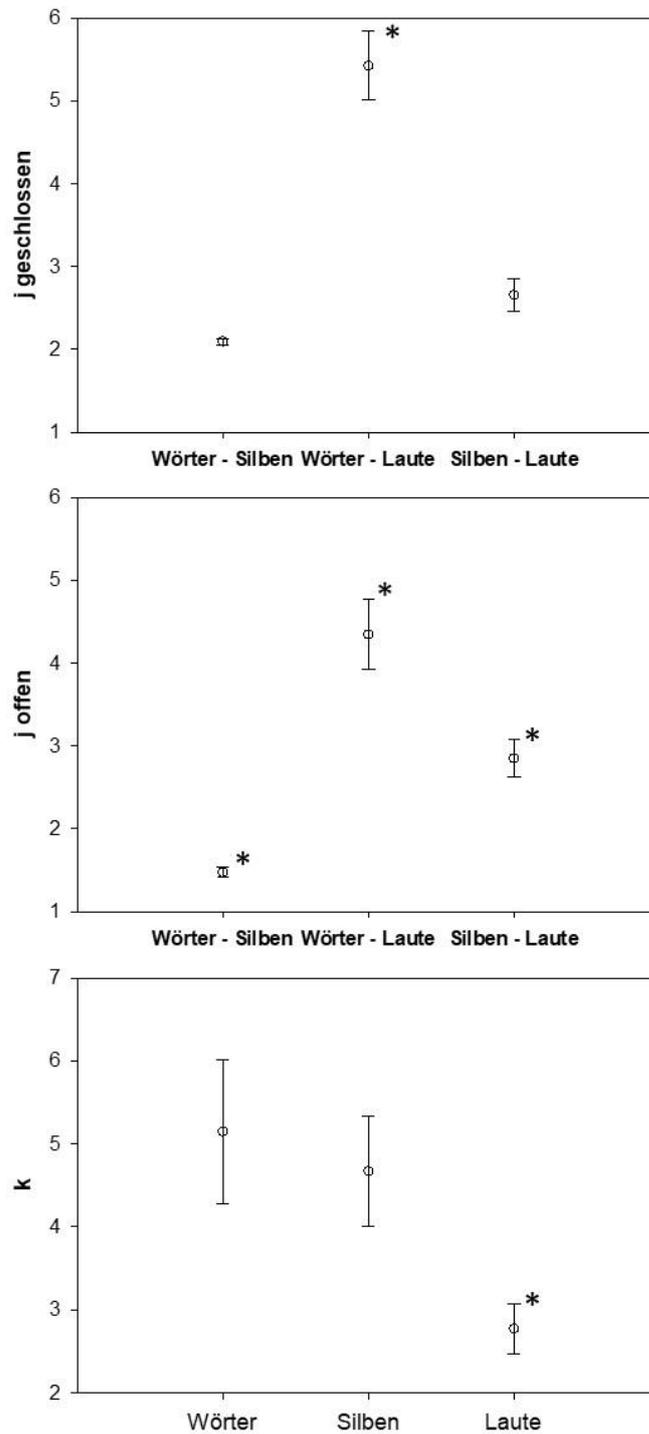


Abbildung 11: Mittelwerte mit 95%-Konfidenzintervalle für  $k$  und  $j$ . Liegen die Konfidenzintervalle so weit auseinander, dass sie sich nicht überlappen, kann von einem signifikanten Mittelwertunterschied ausgegangen werden. \* signifikante Unterschiede

### 3.4 Abhängigkeit der k- und j-Faktoren vom SNR und SVI

Im vorherigen Abschnitt wurde festgestellt, dass die genaueste Berechnung der k- und j-Faktoren aufgrund der geringeren Streuung aus den Diskriminationsfunktionen erfolgte. Bei der Berechnung der Diskriminationsfunktionen in Abschnitt 3.1 hatte sich als Modellfunktion die Gompertz-Funktion aufgrund der genaueren Anpassung im Bereich geringer SVI als besser geeignet als die häufig benutzte wendepunktsymmetrische Sigmoidalfunktion erwiesen. Ob sich die Gompertz-Funktion auch bei der Analyse der SNR- und SVI-Abhängigkeit der k- und j-Faktoren gegenüber der Sigmoidalfunktion als besser geeignet zeigt, wird nachfolgend in einer vergleichenden Auswertung untersucht.

Abbildung 12 zeigt den Verlauf von k in Abhängigkeit des SNR für beide Fitfunktionen. Mit der Gompertz-Funktion ergeben sich bei zunehmend geringer werdenden SNR unter 0 dB für die einfachen Zweisilber so hohe k- Werte, dass sie nicht mehr sinnvoll als Anzahl von Informationskanälen interpretiert werden können. Gleiches gilt für die Abhängigkeit vom SVI (Abbildung 13). Der Verlauf der k-Werte auf Basis der Sigmoidalfunktion erscheint in beiden Fällen dagegen plausibel. Deshalb erfolgt die abschließende Analyse der SNR- und SVI-Abhängigkeit der k-Faktoren auf Basis der sigmoidalen Diskriminationsfunktionen. Bei der Abhängigkeit der j-Faktoren vom SNR und SVI zeigen beide Versionen der Diskriminationsfunktionen ähnliche j-Werte (Abbildungen 13 und 14). Zur methodischen Vereinheitlichung erfolgt die weitere Analyse der j-Faktoren auch auf Basis der sigmoidalen Diskriminationsfunktionen.

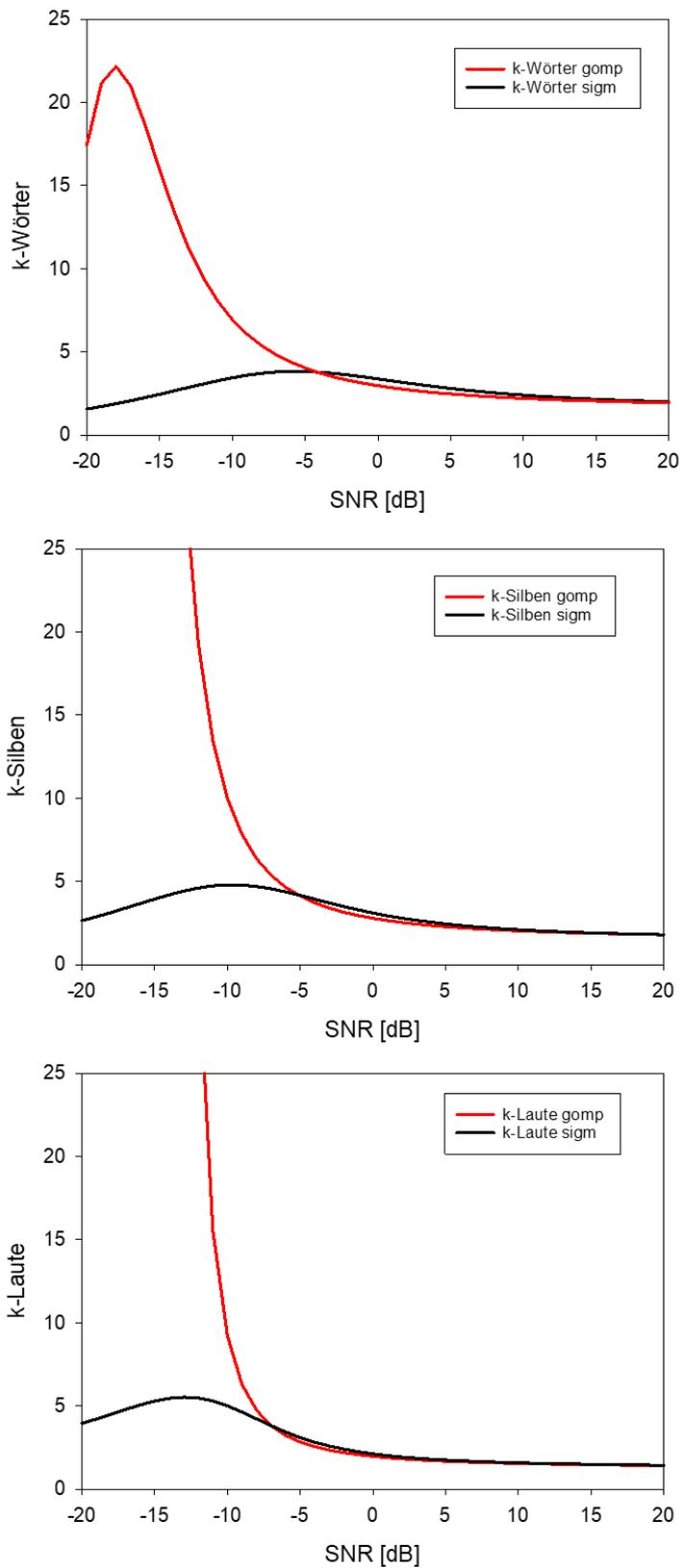


Abbildung 12: Abhängigkeit der  $k$ -Faktoren vom SNR, basierend auf den Diskriminationsfunktionen der Gompertz- (rot) und Sigmoidalfunktion (schwarz)

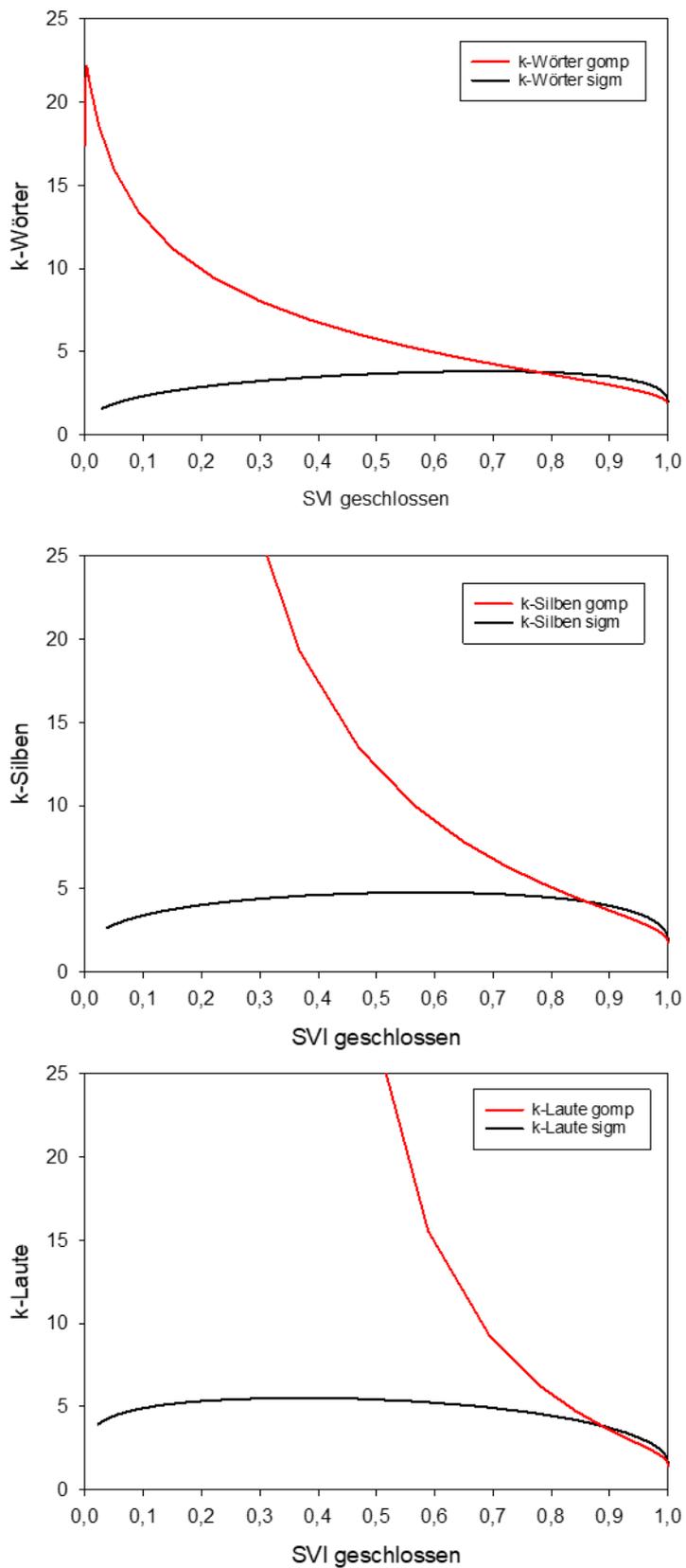


Abbildung 13: Abhängigkeit der  $k$ -Faktoren vom SVI bei geschlossener Präsentation mit dem Vorlagenkontext, basierend auf den Diskriminationsfunktionen der Gompertz- (rot) und Sigmoidalfunktion (schwarz)

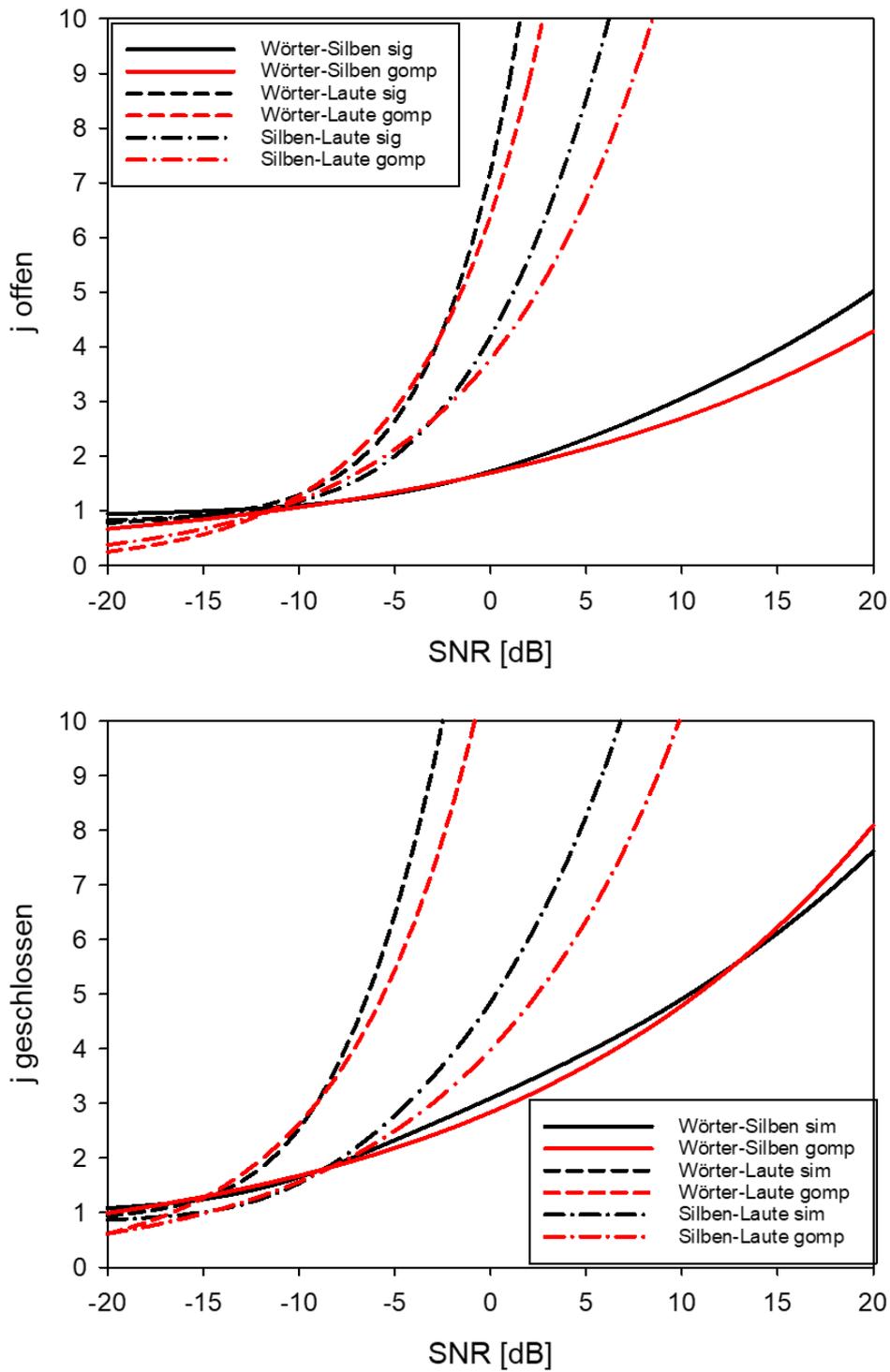


Abbildung 14: Abhängigkeit der  $j$ -Faktoren vom SNR, basierend auf den Diskriminationsfunktionen der Gompertz- (rot) und Sigmoidalfunktion (schwarz)

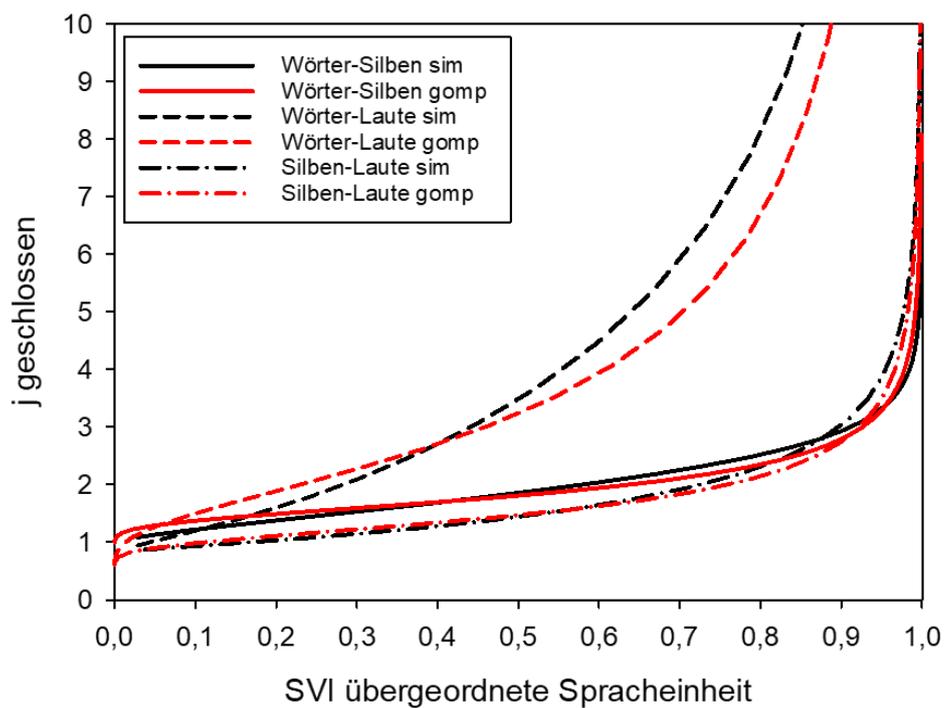
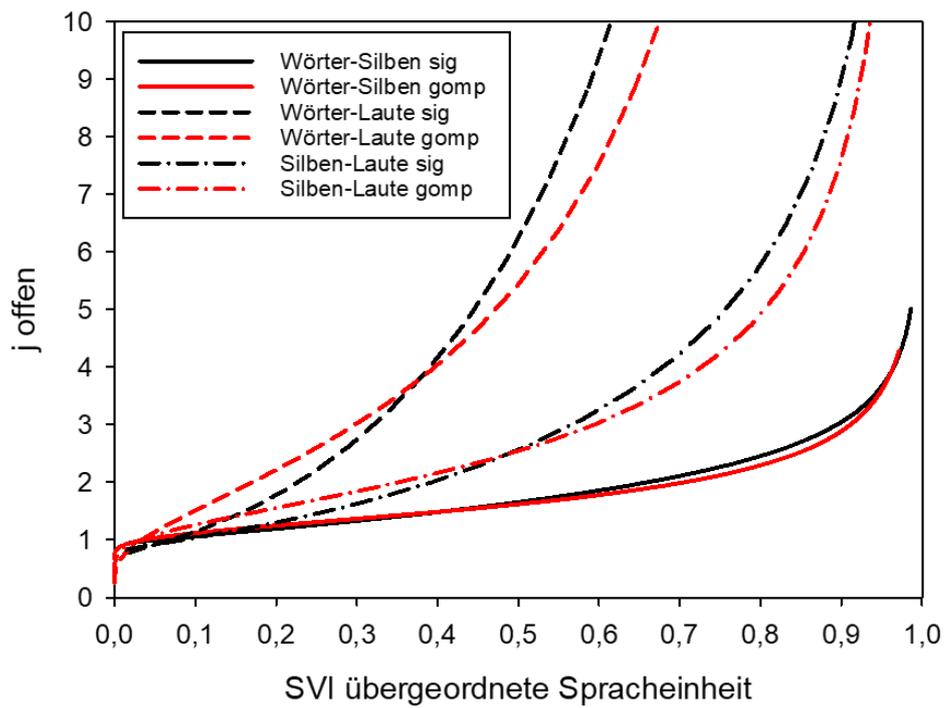


Abbildung 15: Abhängigkeit der  $j$ -Faktoren vom SVI der jeweils übergeordneten Spracheinheit, basierend auf den Diskriminationsfunktionen der Gompertz- (rot) und Sigmoidalfunktion (schwarz)

Die Verläufe von j vs. SNR zeigen ein einfaches exponentielles Wachstum der Form

$$y = a * e^{b*x} \quad (17)$$

mit der wachstumsbestimmenden Verdoppelungskonstanten SNR2 für j in Abhängigkeit vom SNR:

$$SNR2 = \frac{\ln(2)}{b} \quad (18)$$

Für die drei Kombinationen der Sprachelemente ergaben sich die folgenden Funktionsparameter des exponentiellen Wachstums von j in Abhängigkeit vom SNR nach Gl. (17) bei offener und geschlossener Darbietung (Tabelle 12).

<b>j offen</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>SNR2</b>
Laute – Silben	4,541	0,127	0,999	5,5 dB
Silben – Wörter	1,834	0,050	0,993	13,9dB
Laute – Wörter	8,617	0,176	0,999	3,9 dB
<b>j geschlossen</b>				
Laute – Silben	4,858	0,105	0,999	6,6 dB
Silben – Wörter	2,961	0,049	0,996	14,1 dB
Laute – Wörter	15,347	0,149	1,000	4,7 dB

*Tabelle 12: Parameter der exponentiellen Wachstumsfunktionen der j-Faktoren in Abhängigkeit des SNR und die Verdoppelungskonstante SNR2*

Bei der Ermittlung der genauesten Fitfunktionen für j vs. SVI fand sich ein doppeltes exponentielles Wachstum der Form

$$y = y_0 + a * e^{b*x} + c * e^{d*x} \quad (19)$$

Die Verdoppelungskonstanten SVI21 für den ersten Wachstumsterm und SVI22 für den zweiten berechnen sich in Analogie zu (18):

$$SVI21 = \frac{\ln(2)}{b} \quad \text{bzw.} \quad SVI22 = \frac{\ln(2)}{d} \quad (20)$$

Für die Abhängigkeit von  $j$  vom SVI ergaben sich folgende Funktionsparameter:

<b>j offen</b>	<b>y0</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Laute – Silben	-0,026	0,841	2,248	$1,3 \cdot 10^{-5}$	13,557	1,000
Silben – Wörter	-1,353	2,262	0,601	$7,9 \cdot 10^{-8}$	17,322	0,998
Laute – Wörter	-0,448	1,104	3,604	$1,9 \cdot 10^{-5}$	15,480	0,999
<b>j geschlossen</b>						
Laute – Silben	0,365	0,481	1,601	$2,2 \cdot 10^{-5}$	11,407	1,000
Silben – Wörter	-3,156	4,220	0,345	$1,6 \cdot 10^{-5}$	11,005	0,996
Laute – Wörter	-0,481	1,344	2,166	$1,1 \cdot 10^{-5}$	14,151	0,999

*Tabelle 13: Parameter der doppelt-exponentiellen Wachstumsfunktionen der j-Faktoren in Abhängigkeit des SVI*

Die Verdoppelungskonstanten SVI21 und SVI22 sind in Tabelle 14 aufgelistet:

<b>j offen</b>	<b>SVI21</b>	<b>SVI22</b>
Laute – Silben	30,8%	5,1%
Silben – Wörter	115,3%	4,0%
Laute – Wörter	19,2%	4,5%
<b>j geschlossen</b>		
Laute – Silben	43,3%	6,1%
Silben – Wörter	200,1%	6,3%
Laute – Wörter	32,0%	4,9%

*Tabelle 14: Verdoppelungskonstanten SVI21 und SVI22 der beiden Wachstumsterme der doppelt-exponentiellen Wachstumsfunktionen der j-Faktoren in Abhängigkeit des SVI*

Weil die bestangepasste Funktion aus zwei Wachstumstermen besteht, ist das ein Hinweis, dass zwei Prozesse die Zunahme der  $j$ -Faktoren mit ansteigender Sprachverständlichkeit beeinflussen.

Abbildung 16 zeigt den Vergleich der Abhängigkeit von  $k$  vom SNR für Wörter, Silben und Laute aus den Verständlichkeitswerten der sigmoidalen Diskriminationsfunktionen.

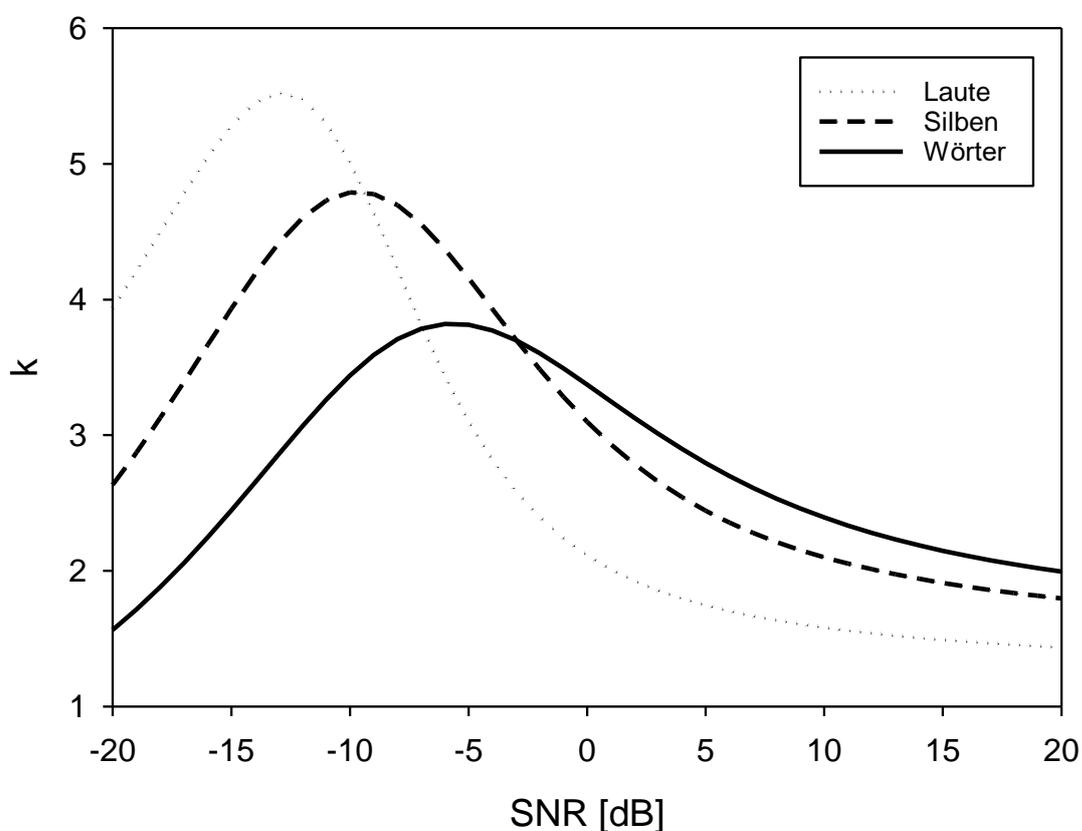


Abbildung 16: Abhängigkeit der  $k$ -Faktoren der Wörter, Silben und Laute vom SNR

Der Verlauf der  $k$ -Faktoren in Abbildung 16 zeigt eine gipfelbildende, nichtlineare Abhängigkeit vom SNR mit maximalen Werten bei schwierigen Präsentationsbedingungen ( $\text{SNR} < 0 \text{ dB}$ ) mit geringer Hörbarkeit der Sprachsignale. Das Maximum der  $k$ -Faktoren ist umso höher, je weniger komplex die akustischen Sprachelemente waren, am höchsten dementsprechend für Laute. Bei Hörbedingungen mit besserer Hörbarkeit der Sprachsignale ( $\text{SNR} > 0 \text{ dB}$ ) verhalten

sich die k-Faktoren umgekehrt, bei der Wortidentifikation sind sie höher als bei der Lautidentifikation. Die Abhängigkeit der Höhe und des Maximums der k-Faktoren vom SNR ist qualitativ ähnlich dem Verlauf des absoluten Gewinns an Sprachverständlichkeit bei Ausnutzung des Kontextes (in der geschlossenen Präsentationsbedingung) in Abb. 7.

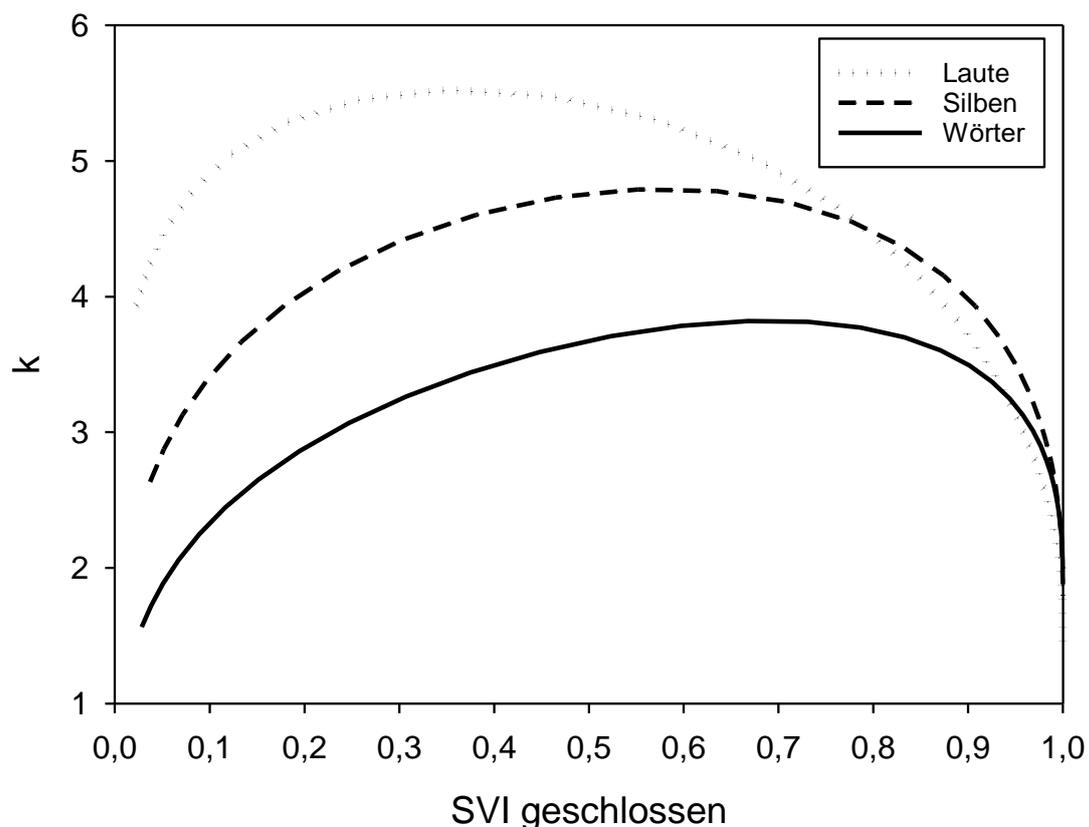


Abbildung 17: Abhängigkeit der k-Faktoren von der Sprachverständlichkeit der Wörter, Silben und Laute in der geschlossenen Präsentation mit dem Kontext der vorgelegten Wortliste

Auch die Abhängigkeit der k-Faktoren von der Sprachverständlichkeit in der kontextbehafteten geschlossenen Präsentation ergab die höchsten Werte für die einfachsten Sprachelemente (Laute) und die geringsten für die Wörter. Das ausgeprägte Maximum, das bei der Abhängigkeit vom SNR aufgetreten ist (Abb.16), ist hier erheblich in die Breite gezogen. Die relative Lage der flacheren Maxima entspricht der aus Abbildung 16. Die Maxima der k-Faktoren verändern sich ähnlich wie in Abbildung 16 von niedrigen SVI für Laute zu hohen SVI für Wörter.

## 4 Diskussion

### 4.1 Diskussion der Methodik

Die Durchführung des Tests verlief mit allen Teilnehmern problemlos. Es wurden alle Anweisungen verstanden und korrekt ausgeführt. Keiner der Versuchspersonen gab an, Schwierigkeiten mit den angewandten Programmen und der Methodik zu haben. Somit konnten alle Daten ausgewertet werden.

Bei der Durchführung des Tests mit den ersten Versuchspersonen ist aufgefallen, dass der SNR stellenweise angepasst werden muss, da mit bestimmten zuerst ausgewählten SNRs der Test bei offener Darbietung zu schwierig, bei geschlossener Darbietung zu einfach wurde. Dies hätte zu viele unbrauchbare Ergebnisse gebracht, welche nicht in die Berechnungen der k- und j-Werte miteinbezogen werden hätten können. Deshalb wurden bestimmte SNRs nur bei wenigen Versuchspersonen angewendet.

In dieser Untersuchung wurden die ursprünglichen Bildvorlagen des OLKI abgewandelt, indem bei der geschlossenen Durchführung die Bilder durch eine schriftliche Wörterliste ergänzt wurden, um Transkriptionsfehler von Bild zu Wort zu vermeiden. Somit sind die Testwortalternativen eindeutig definiert. Bei der Originalversion des OLKI mit Bildkarten hingegen ist es schwierig, die Testwortalternativen a priori noch vor der akustischen Präsentation eindeutig aus den Bildvorlagen abzuleiten, viele Bilder sind nicht selbsterklärend. Durch die Präzisierung durch Umwandlung der Bilder in Wörter kann über alle Versuchspersonen hinweg durch die einheitliche Testwortkombination die a priori Identifizierungswahrscheinlichkeit nach dem NAM konstant gehalten werden, um den Kontexteffekt präziser erfassen zu können.

Eigentlich sollten alle Testlisten den gleichen Schwierigkeitsgrad aufweisen (Brand et al. 1999). Allerdings erschien wiederum bei den ersten Versuchspersonen TL 7 leichter als TL 6, es wurden bei TL 7 trotz geringerem Signal-Rausch-Verhältnis mehr Wörter richtig verstanden als bei TL 6. Dies erklärt die geringere Sprachverständlichkeit bei  $SNR = 0$  dB als bei  $SNR = -3$  dB bei den ersten 6 Teilnehmern. Ab Teilnehmer 7 wurden die Listen getauscht, sodass die Teilnehmer die TL 7 bei einem  $SNR=0$  dB dargeboten bekamen, und die TL 6 bei  $SNR = -3$  dB. Im Allgemeinen ist daher festzuhalten, dass der OLKI für die Fragestellung in Bezug

auf die k- und j-Faktoren nicht ideale Bedingungen aufweist. Dafür wären beispielsweise eine noch größere Anzahl an Testwörter pro Liste wünschenswert, generell eine größere Wortauswahl und Bandbreite der Semantik (nicht nur der kindliche Wortschatz) und eine bessere Gleichmäßigkeit der Testlistenschwierigkeit in Bezug auf Bekanntheit und Geläufigkeit der Wörter.

#### **4.2 Diskussion der Ergebnisse aus 3.1 und 3.2**

Die Sprachverständlichkeiten, die bei gleichem SNR ermittelt werden konnten, sind zwischen der offenen und geschlossenen Darbietung signifikant unterschiedlich (Tab. 5). Dies kann bei den großen Differenzen auch für die Ergebnisse bei den restlichen SNR aufgrund der sich nicht überschneidenden 95%-Konfidenzintervalle der Funktionskurven (Abbildung 18) angenommen werden.

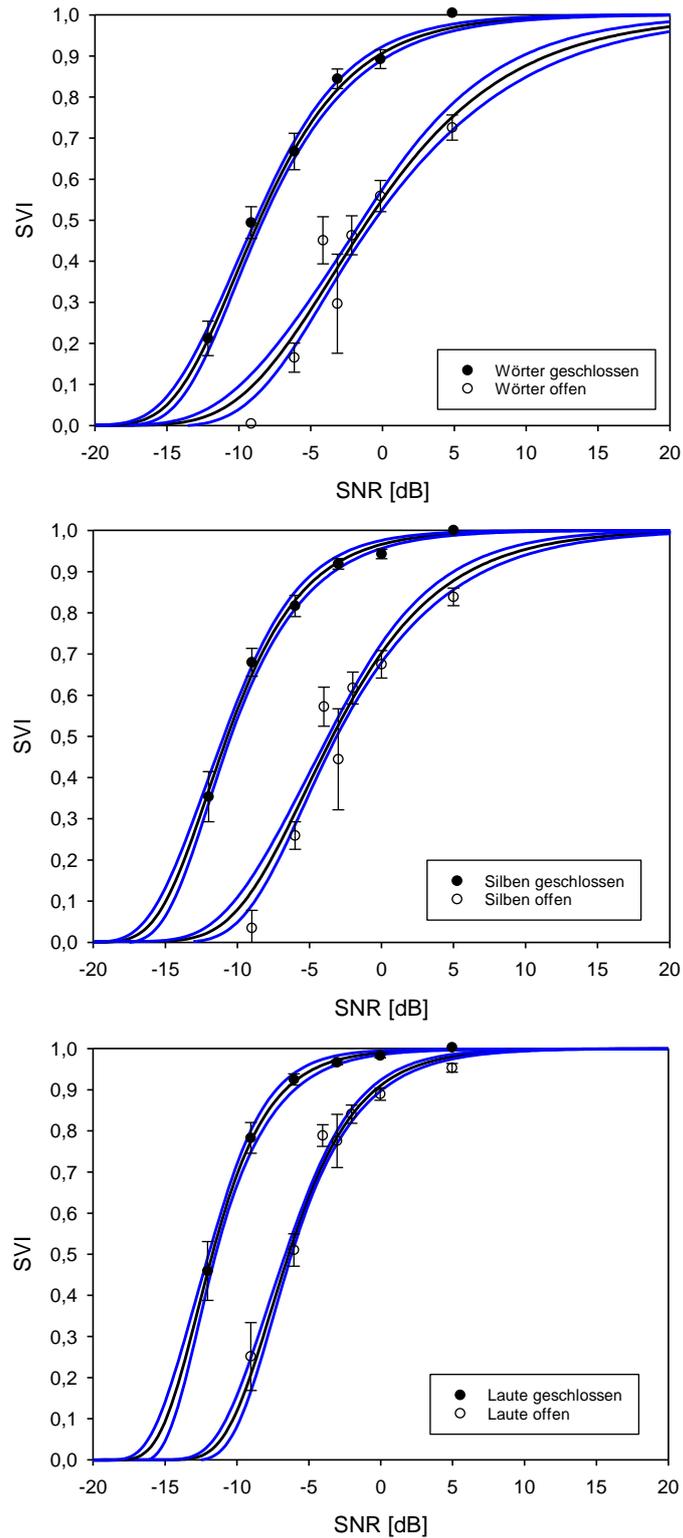


Abbildung 18: 95%-Konfidenzintervalle um die Mittelwerte der SVI-Messergebnisse und die Funktionsverläufe der Diskriminationsfunktionen (blaue Linien). Für alle drei Spracheinheiten liegen die 95%-Konfidenzintervalle zwischen geschlossener und offener Präsentation so weit auseinander, dass sie sich nicht überschneiden und damit ein signifikanter Unterschied angenommen werden kann.

Die Diskriminationsfunktionen der Laute verlaufen für beide Präsentationsarten mit nahezu identischer Steigung parallel, der Steigungsunterschied beträgt lediglich 0,7 %/dB. Nur die Verringerung der SRT um 5,3 dB gibt hier den größeren Schwierigkeitsgrad bei offener Präsentation an. Bei den Silben erniedrigt sich die Steigung bei offener Präsentation um 3 %/dB, bei den Wörtern um ähnliche 2,8 %/dB. Ähnlich verhält es sich hier mit den SRTs, die bei den Silben um 7,3 dB, bei den Wörtern um 7,6 dB ansteigen. Erwartungsgemäß führt der Kontexteffekt durch die Wortvorlagen in der geschlossenen Präsentation zu einer bedeutsamen Verringerung der perceptiven Schwierigkeit aller drei Sprachmaterialien. Dieser Effekt ist allerdings für die Laute erheblich geringer als für Silben und Wörter.

Anhand der Verläufe der Diskriminationsfunktionen in Abbildung 5 und deren Parameter in Tabelle 6 ist erkennbar, dass die SRTs bei offener Präsentation deutlich höher sind als bei geschlossener Präsentation. Tabelle 15 zeigt einen direkten Vergleich für die Parameter  $m_{\text{SRT}}$  und SRT der Diskriminationsfunktionen aus Abb. 5 und Tab. 6. Dies bestätigt die allgemeine Annahme, dass die geschlossene Präsentation für die Teilnehmer einfacher ist. Je steiler und weiter links die Kurven der Diskriminationsfunktionen verlaufen, desto leichter war die Testaufgabe (= SRT klein, Steigung  $m$  groß). Je flacher und weiter nach rechts verschoben bedeutet eine schwierigere Testaufgabe (= SRT groß,  $m$  klein). Daraus lässt sich schließen, dass bei großen SRTs eine gesteigerte Hörbarkeit notwendig ist; bei niedrigen Steigungen erhält man nur einen geringen Informationszuwachs durch mehr Hörbarkeit.

Geht man davon aus, dass mit der offenen Präsentation die Basisverständlichkeit des Sprachmaterials erfasst wird, die ohne zusätzliche Hilfestellung durch Kontexteffekte vorhanden ist, dann stellt der nichtlineare Zusammenhang zwischen den Sprachverständlichkeiten bei offener und geschlossener Präsentation in Abbildung 6 den Kontexteffekt in Abhängigkeit der Basisverständlichkeit dar. Man erkennt, dass er vor allem bei niedriger Basisverständlichkeit die größten Gewinne an Sprachverständlichkeit bewirkt und er mit zunehmender Basisverständlichkeit an Einfluss abnimmt. Die Steigung gibt an, wo sich die Hilfe durch die Wortvorlage besonders effektiv auswirkt und einen starken Kontexteffekt ausübt.

		offen	geschlossen
m <sub>SRT</sub>	Wörter	5,2	7,9
	Silben	6,8	9,7
	Laute	10,8	12,9
SRT	Wörter	-1,0	-8,6
	Silben	-3,4	-10,7
	Laute	-6,4	-11,7

*Tabelle 15: Direkter Vergleich der Parameter aus Tab.6 offen zu geschlossen*

Des Weiteren wird deutlich, dass die SRTs von Wörter zu Silben zu Lauten immer niedriger werden (sowohl bei offener als auch geschlossener Präsentation). Dies bedeutet eine erleichterte Identifikation von Lauten gegenüber Silben oder Wörter. Bei dem Vergleich des Gewinns an Sprachverständlichkeit durch die Wortvorlagen der geschlossenen Präsentation aus der Differenz zwischen den Diskriminationsfunktionen für offene und geschlossene Präsentation (Abb. 7) fällt auf, dass der maximale Gewinn mit zunehmender akustischer Komplexität der Spracheinheiten (Laute < Silben < Wörter) immer kleiner wird. Damit einher geht auch eine Zunahme der perceptiven Schwierigkeit in derselben Reihenfolge der sprachlichen Elemente. In der Sprachaudiometrie zeigt sich die perceptive Schwierigkeit eines Sprachmaterials anhand der Parameter SRT und Steigung für dessen Diskriminationsfunktion. Je schwieriger das Sprachmaterial, desto größer wird der SRT und desto flacher die Steigung der Diskriminationsfunktionen. Dieser Zusammenhang ist in den Funktionsparameter sowohl für die offene als auch für die geschlossene Präsentation ebenfalls mit zunehmender akustischer Komplexität zu erkennen (Tabelle 6). Die Identifizierung und Diskriminierung von Lauten scheint aufgrund der niedrigsten SRTs und größten Steigungen in beiden Präsentationsmodi einfacher als diejenige der Silben und Wörter gewesen zu sein. Die größere Schwierigkeit bei der Identifizierung der Wörter könnte dadurch entstanden sein, dass hier die Versuchspersonen das Zielelement nicht nur nach akustischen Eigenschaften identifizieren können, wie bei den Lauten, sondern auch

eine semantische Komponente für reale Wörter der deutschen Sprache zu beachten haben. Damit ergibt sich ein zusätzlicher Parameter durch den individuellen Wortschatz und die Gebräuchlichkeit der Ziel- und Alternativwörter. Zusätzlich hängt die Identifikationswahrscheinlichkeit bei den jeweils zwei Silben pro Wort von der Hör- und Erkennbarkeit für zwei Sprachelemente ab, die durch artikulatorische Einflüsse nicht bei jedem Wort gleich ist. In ähnlicher Weise muss bei der Silbenidentifikation die Beschränkung auf Silben der deutschen Sprache berücksichtigt werden, genauso wie die Hörbarkeit von mehreren Sprachelementen, den Lauten, aus denen sich die Silben bilden. Außerdem wurde bei der Testdurchführung exakt auf die Aussprache geachtet: Bei dem Wort „Schlange“ zum Beispiel wurde das Wort als falsch gewertet, wenn die Testperson „Schlangen“, also die Mehrzahl wiedergegeben hat. Die fünf Laute wurden aber alle erkannt und somit trotzdem als richtig gewertet, sowie eine richtige Silbe. Interessant ist, dass aber auch bei der geschlossenen Version die Sprachverständlichkeitsschwelle bei den Silben und Lauten niedriger lag als bei den Wörtern. Dies zeigt, dass die Testpersonen der Anweisung nicht zu raten, Folge geleistet hatten, und selbst wenn das vermeintlich gehörte Wort (wie im obigen Beispiel „Schlangen“) nicht bei den drei Auswahlwörtern stand (sondern nur „Schlange“), sie dies dennoch so angaben.

Betrachtet man noch einmal den Gewinn an SV in Abbildung 7, so fällt auf, dass sich das SNR, bei dem der maximale Gewinn auftritt, zu größeren Werten hin verschiebt (SNR Laute < Silben < Wörter). Dieselbe Verschiebung des maximalen Gewinns tritt in Abhängigkeit der Sprachverständlichkeit auf (Abbildung 8). Hier ist bemerkenswert, dass für alle drei Spracheinheiten der maximale Gewinn bei sehr geringer Sprachverständlichkeit auftritt. Das bedeutet, dass sich die Hilfestellung durch die Vorlage der Testwortalternativen und der damit verbundene Kontexteffekt in der geschlossenen Präsentation, am effektivsten bei schwierigen Hörbedingungen mit kleinen SNR und nur geringer Verständlichkeit zwischen 12 % und 28 % (Tabelle 8) auswirkt. Die Höhe des Gewinns an Sprachverständlichkeit bei geschlossener Präsentation ist mit 57,4 %-Punkten für Laute, 54 %-Punkten für Silben und 45,7 %-Punkten für Wörter ganz erheblich (Tabelle 8).

Daraus kann geschlossen werden, dass Patienten mit (teilweisem) Hörverlust am meisten von den Kontexteffekten profitieren (bei weitgehend uneingeschränkter kognitiver Funktion und Leistungsfähigkeit).

### 4.3 Diskussion der k- und j-Faktoren

Der funktionelle Zusammenhang zwischen den SVI von Lauten–Silben, Silben–Wörter und Lauten-Wörtern kann wie bei Boothroyd und Nittrouer (1988) mit hoher Genauigkeit durch eine Potenzfunktion nach Gleichung (13) beschrieben werden, bei der der Exponent den j-Faktor darstellt (Tab. 9). Aus Gleichung (13) lässt sich ein zweites Verfahren zur Bestimmung von j ableiten, indem sie nach j umgestellt wird. Mit der resultierenden Gleichung (14) werden dann die Verhältnisse der logarithmierten Einzelwerte der Sprachverständlichkeiten für Wörter, Silben und Laute, die mit demselben SNR erhoben wurden (0, -3, -6 und -9 dB SNR), jeweils zwischen der über und untergeordneten Spracheinheit gebildet und über alle SNR gemittelt. Zudem wurden ebenfalls nach den Vorgaben von Boothroyd und Nittrouer (1988) nur Werte der Sprachverständlichkeit zwischen 5 – 95 % zur Erhöhung der Genauigkeit verwendet. In gleicher Weise wurde die Bestimmung der k-Faktoren als Exponent mit Gleichung (15) und mit Gleichung (16) als Verhältnis der Einzelwerte durchgeführt.

Ein Nachteil bei der Verwendung der Einzelwerte aus den Sprachverständlichkeitsmessungen ist einerseits deren große Streuung (siehe Abbildungen 9 und 10). Andererseits können auch nur die Sprachverständlichkeitswertepaare für die Berechnung von j- und k-Faktoren nach den Gleichungen (14) und (16) verwendet werden, die mit demselben SNR bestimmt wurden. Deren Anzahl wurde durch die Sättigungs- und Bodeneffekte bei sehr hohen und niedrigen SNR stark eingegrenzt. Eine Möglichkeit zur effektiven Verminderung der Streuung und zur erheblichen Erhöhung der Anzahl an Wertepaaren ergibt sich, wenn man an Stelle der Rohwerte die daraus berechneten Diskriminationsfunktionen verwendet. Der verringerte Einfluss der Streuung lässt sich an den deutlich erhöhten  $R^2$ -Werten in Tabelle 10 im Vergleich mit Tabelle 11 erkennen. Tabelle 16 gibt einen Überblick darüber, wie sich die k- und j-Faktoren in Abhängigkeit der Berechnungsmethode ergeben haben.

		Aus Potenzfunktionen		Mittelung der paarweisen Einzelwertverhältnisse
		Mit Rohwerten	Mit Wertepaaren aus den Diskriminationsfunktionen	
k	Wörter	-	3,52	5,15
	Silben	-	4,46	4,67
	Laute	-	5,23	2,77
j offen	Laute-Silben	2,55	2,23	2,85
	Silben-Wörter	1,47	1,49	1,47
	Laute-Wörter	4,35	5,36	4,35
j geschlossen	Laute-Silben	2,18	1,31	2,66
	Silben-Wörter	2,05	1,69	2,09
	Laute-Wörter	4,72	2,92	5,42

Tabelle 16: Vergleich der k- und j-Faktoren in Abhängigkeit der Berechnungsmethode

Die deutlichen Unterschiede für die k-Werte bei den verschiedenen Berechnungsmethoden lassen sich dahingehend erklären, dass bei den gemittelten Werten der paarweisen Einzelwertverhältnisse über alle SNRs hinweg gemittelt wurde; da k aber stark von SNR abhängig ist, führt dies wiederum zu Ungenauigkeiten. Auch bei den j-Werten kommt es aufgrund der großen Streuung der Werte zu Ungenauigkeiten bei der Mittelung. Des Weiteren spielt es eine Rolle, dass die Menge an Daten nicht gleichmäßig verteilt ist (siehe Abb. 9 und 10 Laute-Silben, Laute-Wörter) und so einige Werte stärker, andere weniger stark gewichtet wurden.

Daher werden aufgrund der höchsten Genauigkeit für die abschließende Interpretation der k- und j-Faktoren die Werte auf Basis der Berechnungen der Diskriminationsfunktionen verwendet (aus Tabelle 10).

Eine erste Beschreibung der k- und j-Werte erfolgte bereits eingangs (vgl. 1.3. Genauere Beschreibung der j- und k-Werte).

Dies kann auf die Ergebnisse dieser Studie übertragen werden. Je größer  $k$ , desto mehr Kontext wird benötigt, je geringer der  $k$ -Wert, desto weniger Informationskanäle werden benötigt. Am wenigsten Informationskanäle werden bei den Wörtern gebraucht, da hier der meiste Kontext durch die Semantik gegeben ist. Bei den Lauten hingegen ist man sehr auf die Informationskanäle und den Kontext angewiesen, es ergeben sich die größten Werte für  $k$ .

$J$  beschreibt die Anzahl statistisch unabhängiger Information übertragender Sprachelemente, die den Kontexteffekt innerhalb einer übergeordneten Spracheinheit (Wörter oder Silben) durch die darin vorhandenen untergeordneten Spracheinheiten (Silben oder Laute) erzielen. Damit wird die zur richtigen Identifikation einer übergeordneten Spracheinheit notwendige Anzahl von untergeordneten Einheiten reduziert.

Da die Testwörter des OLKI aus Zweisilbern bestehen, könnte man erwarten, dass  $j$  bei Silben-Wort-Analysen maximal 2 werden kann und entweder den Wert 1 oder 2 annimmt. Da wir aber viele Wörter analysieren, stellt  $j$ , auch wenn es als Potenz ermittelt wird, einen Durchschnittswert über alle verwendeten Wörter und Testpersonen dar. Gleiches gilt für die Anzahl von Lauten.

Die Änderung von  $j$  zwischen offener und geschlossener Präsentation gibt den zusätzlichen Kontexteffekt durch die Wortvorlagen wieder. Es fällt auf, dass bei der geschlossenen Präsentation, bei der die drei a priori vorgegebenen Wortalternativen den zusätzlichen Kontext gegenüber der offenen Präsentation bilden, die Anzahl an sprachlich-akustischen Einzelelementen, die für eine richtige Antwort verwendet wurden und die als  $j$ -Faktor ausgedrückt werden, gegenüber der offenen Präsentation auf fast die Hälfte abnehmen, wenn sie die Anzahl an Lauten repräsentieren, die zu richtig erkannten Silben oder Wörter führten (in Tabelle 10: Laute – Silben und Laute – Wörter). Nahezu unverändert blieb die Anzahl an Silben, die zur Wortidentifikation verwendet wurden (Tabelle 10: 1,49 zu 1,69). Das legt nahe, dass vor allem durch die Wortvorlagen die Angaben und die damit verbundene Einschränkung der zu beachtenden Laute den wesentlichen Kontexteffekt ausmachen. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass es sich beim OLKI um einen Reimtest handelt, dessen Wortalternativen in der geschlossenen Präsentation sich lediglich um einen Laut unterscheiden.

Die Tabelle 17 zeigt, dass für die richtige Identifikation einer Silbe aus den Einzellauten sowie für ein Wort aus den Einzellauten der Kontexteffekt durch die Wortvorlagen nahezu eine Halbierung von  $j$  bewirkt. Bei der Identifikation eines Wortes aus den Silben bleiben die Werte im Rahmen der Messbedingungen annähernd gleich, es ergibt sich kein wesentlicher Vorteil durch die Wortvorlage.

	$j_{\text{geschlossen}}/j_{\text{offen}}$
Laute-Silben	$1,31/2,23 = 0,59$
Silben-Wörter	$1,69/1,49 = 1,13$
Laute-Wörter	$2,92/5,36 = 0,54$

*Tabelle 17: Relative Veränderung der einzelnen  $j$  Werte-Kombinationen nach Tabelle 10 durch die Wortvorlagen*

In einer weiteren Auswertung wurde ermittelt, dass 8 der 40 Versuchspersonen (20%) mindestens einmal  $j=1$  oder  $k=1$  oder beides erreicht haben. Man hätte erwarten können, dass in der geschlossenen Darbietung und bei einfachem SNR (nahezu) alle Akademiker die Variation nur eines Lautes hätten ausnutzen können um  $k, j = 1$  zu erreichen. Dies zeigt zum einen, dass die Versuchspersonen vorab nicht mit dem Wortmaterial trainiert worden sind oder Übungsbeispiele absolviert haben.

Zum anderen lässt sich daran erkennen, dass die Hörer nicht nur auf den einen unterschiedlichen Laut geachtet haben, sondern genau das wiedergaben, was sie gehört haben, auch wenn das von ihnen verstandene Wort nicht bei den drei Auswahlwörtern dabei war (vgl. obiges Beispiel Schlange / Schlangen).

#### Abhängigkeit von $k$ und $j$ vom SNR und SVI

Die Mittelwertbildung aus den Einzelwerten für  $j$  und  $k$  über alle verwendeten SNR und Sprachverständlichkeiten führt dann zu genauesten Ergebnissen, wenn  $j$  und  $k$  nicht vom SNR oder der damit zusammenhängenden Höhe der

Sprachverständlichkeit abhängen würden. Dies ist aber nicht der Fall, wie in den Abbildungen 12 bis 17 zu sehen ist.

Sowohl die  $k$ - als auch die  $j$ -Werte weisen eine starke Abhängigkeit vom SNR und SVI auf. Als zentraler Faktor scheint die Hörbarkeit der Sprachelemente eine Rolle zu spielen. Je kleiner das SNR, desto weniger ist von dem akustischen Sprachsignal hörbar. Bei -10 dB z. B. sind im Wesentlichen nur die lautesten Schallpegelspitzen hörbar. Nur hörbare Sprachelemente können im Sinne von zusätzlichen Informationskanälen das Erschließen der Antwort durch Kontexteffekte der akustischen Sprachelemente im Wort ermöglichen. Dies ist auch in Abb. 16 ersichtlich: Sowohl bei ganz hohen als auch bei ganz niedrigen SNRs verringert sich  $k$ . Bei einem hohen SNR ist das Wort sehr gut hörbar, es ist nur wenig Kontext notwendig, da es einfach zu verstehen ist. Bei sehr niedrigem SNR spielt der Kontext ebenfalls eine geringe Rolle, da aufgrund des Störgeräuschs fast nichts mehr verstanden / gehört wird.

Der höhere Wert von  $k$  bei der Wortidentifikation im Vergleich zur Silben- und Lautidentifikation unter leichten Hörbedingungen gibt den Hinweis, dass hierzu mehr Informationskanäle verwendet wurden. Da alle Testwörter auch eine semantische Information beinhalten, diese aber nicht mehr unmittelbar bei Silben oder Lauten vorhanden ist, könnte die Wortbedeutung diesen Unterschied bewirken.

Abbildung 7 und 16 zeigen einmal den Gewinn an Sprachverständlichkeit in der geschlossenen Darbietung und einmal den  $k$ -Faktor, als Indikator für den Kontexteffekt, jeweils in Abhängigkeit vom SNR. Im Vergleich der Funktionsverläufe zeigt sich, dass der Kontext einen wesentlichen Beitrag zur Verständlichkeit der Silben und Laute beiträgt. Wäre der Gewinn an Sprachverständlichkeit rein durch die Hörbarkeit gegeben, so wäre  $SNR_{max}$  gleich. Tabelle 18 zeigt, dass bei den Silben und Lauten das SNR, bei dem jeweils das Maximum erreicht wird, mithilfe des Kontexteffektes verringert werden kann (vgl. Reduktion des SNR von -7,5 dB auf -9 dB bei den Silben und Reduktion des SNR -9.5 dB auf -12,5 dB bei den Lauten). Bei den Wörtern bleibt der Effekt aus, das SNR bleibt auf einem ähnlichen Niveau (ca. -5,5 dB). Dies kann wieder durch die in den Wörtern enthaltene semantische Komponente erklärt werden.

	Werte aus Abb.16		Werte aus Abb.7	
	K max	SNR max	Gewinn SVI max	SNR max
Wörter	ca. 3,8	ca. -5,5 dB	45,7%-Punkte	ca. -5,5 dB
Silben	ca. 4,8	ca. -9 dB	54,0%-Punkte	ca. -7,5 dB
Laute	ca. 5,6	ca. -12,5 dB	57,4%-Punkte	ca. -9,5 dB

*Tabelle 18: Vergleich der aus Abb.16 abgelesenen Werte für Kmax und dem SNR für maximales K mit den Werten des maximalen Gewinns an SVI und dem zugehörigen SNR, abgelesen aus Abb.7*

Die Anzahl  $j$  der zur Identifikation der übergeordneten Sprachelemente Wörter und Silben jeweils verwendeten untergeordneten Elemente Silben bzw. Laute kann sowohl vom physikalischen SNR als psychoakustisches Maß der Hörbarkeit abhängen (Abbildung 18), als auch von den kognitiven Prozessen, die zur Sprachverständlichkeit führen und auf den hörbaren Spracheinheiten aufsetzen. Wird z. B. bei einem zweisilbigen Wort die erste Silbe gehört und richtig erkannt, kann durch einen kognitiven Abgleich des Wortanfangs mit dem individuellen Wortschatz die zweite Silbe selbst dann mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit identifiziert werden, wenn sie unhörbar wäre. Dieses Beispiel unterstreicht die Ergänzung der Analyse der hörbaren Spracheinheiten durch ergänzende Prozesse der Spracherkennung. Diese beiden sowohl aufeinander aufbauenden als auch sich ergänzenden Prozesse geben Anlass, eine Modellfunktion für  $j$  in Abhängigkeit vom SVI mit zwei Wachstumstermen anzunehmen. Tatsächlich passten sich im Vergleich für die Daten von  $j$  in Abhängigkeit vom SVI nur die Fitfunktion mit einer exponentiellen Wachstumsfunktion mit zwei Wachstumstermen nach Gleichung (19) perfekt an die Daten an. Dies bestärkt die Modellannahme, die im Folgenden noch näher erläutert wird, dass  $j$  zwei Prozessen unterliegt, der Hörbarkeit und der Sprachverständlichkeit.

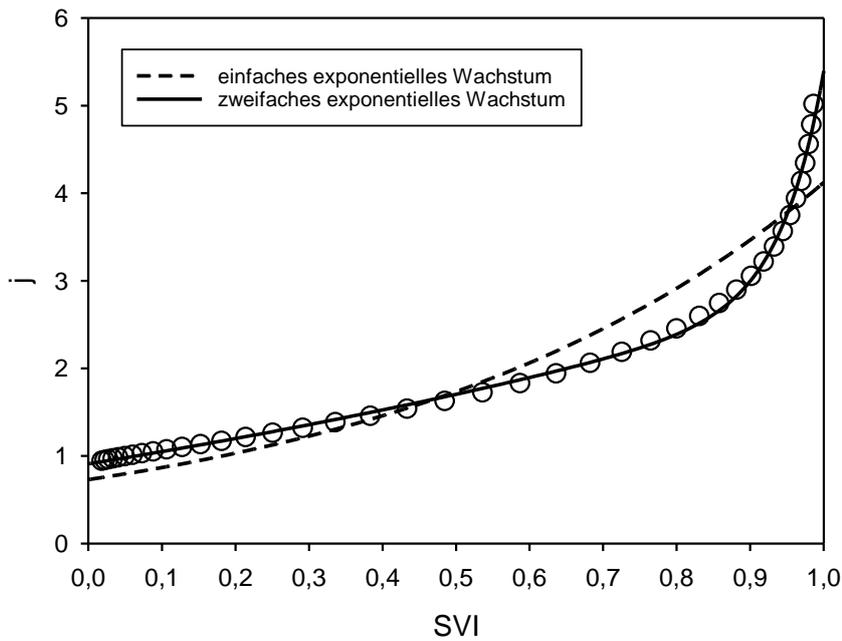


Abbildung 19: Vergleich der Genauigkeit der Anpassung der Fitfunktionen an die Daten (Kreise) für  $j$  und der Kombination Silben – Wörter in Abhängigkeit des SVI in der offenen Präsentation. Die Funktion für einfaches exponentielles Wachstum (gestrichelte Linie) weicht erheblich von dem Verlauf der Daten ab, während der Datenverlauf perfekt mit der Funktion mit einem doppelten exponentiellen Wachstum (durchgezogene Linie) beschrieben werden kann.

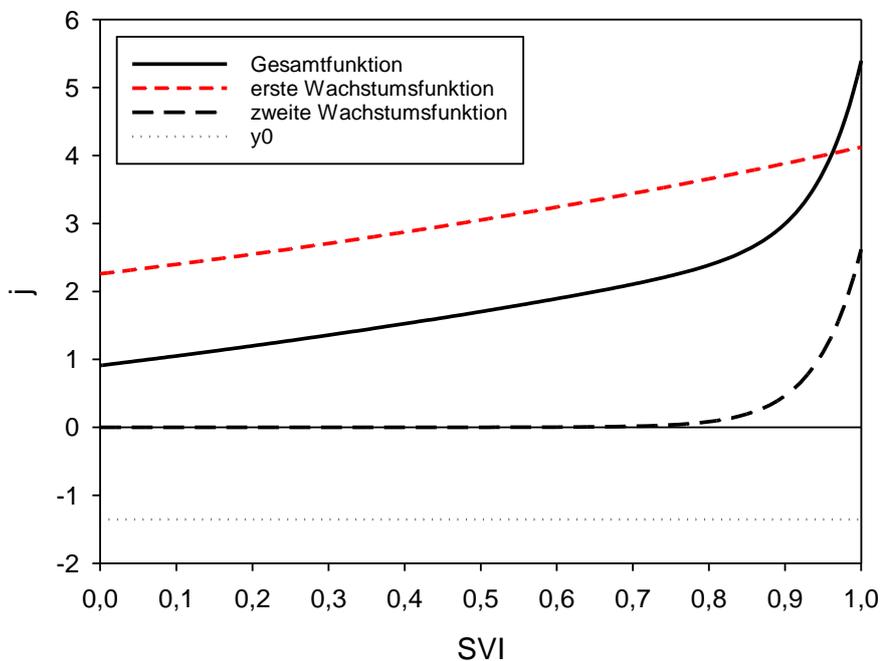


Abbildung 20: Zerlegung der doppelten Wachstumsfunktion für  $j$  und der Kombination Silben – Wörter in Abhängigkeit des SVI in der offenen Präsentation (durchgezogene Linie) in die beiden Wachstumsterme nach Gleichung (19) mit den Funktionsparametern aus Tabelle 13. Die erste Wachstumsterme ist gestrichelt in Rot, die zweite in Schwarz gezeichnet. Die additive Konstante  $y_0$  ist gepunktet dargestellt.

Die Anzahl der informationstragenden Sprachelemente, die mit einer bestimmten Sprachverständlichkeit im Störgeräusch korrelieren, lässt sich nahezu perfekt mit einer Wachstumsfunktion auf der Basis von zwei unterschiedlichen Sprachverarbeitungsprozessen nach Gleichung (19) modellieren (Abb. 19). Daraus lässt sich ein Modell ableiten, das die Menge an Sprachinformationselementen zum Erreichen einer bestimmten Sprachverständlichkeit durch die additive Wirkung zweier unabhängiger Prozesse beschreiben kann. Die Wirkungsweise dieser beiden Prozesse lässt sich durch folgende Überlegungen erläutern.

Im Hinblick darauf, dass die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch in Abhängigkeit vom SNR gemessen wurde, das sich für zunehmende Verständlichkeit kontinuierlich vergrößert hat, beinhaltet der SVI zuerst den Faktor der Hörbarkeit von Sprachinformation. Die Variation der Hörbarkeit von Sprache ist im Störgeräusch der primäre Effekt des SNR. Gleichzeitig steigt mit zunehmender Hörbarkeit (größerem SNR) und der damit verbundenen zunehmenden Menge an nutzbaren Sprachinformationselementen die Wahrscheinlichkeit der Wortidentifikation aus dem individuellen Wortschatz.

Aus der Einzelbetrachtung der Funktionsverläufe der beiden Wachstumsterme (Abb. 20) lassen sich diese beiden Prozesse quantitativ beschreiben. Der erste Wachstumsterm (gestrichelte Linie) hat eine nahezu lineare Steigung über den gesamten SVI-Bereich und beschreibt für die Zunahme des SVI eine stetige Erhöhung der Anzahl der verwendeten Sprachelemente von zwei auf vier. Die nahezu lineare Steigung der ersten Wachstumsfunktion korreliert mit der gleichmäßigen Zunahme an Hörbarkeit durch die Vergrößerung des SNR. Der zweite Wachstumsterm trägt erst bei sehr guter Sprachverständlichkeit ( $SVI > 0,8$ ) zum j-Faktor bei und zeigt einen steilen exponentiellen Anstieg bis zur vollständigen Verständlichkeit ( $SVI = 1$ ). An diesem Punkt trägt er mit zwei zusätzlichen Informationselementen zur Sprachverständlichkeit bei. Dies kann als ein Prozess interpretiert werden, der erst ab einer bestimmten Grundmenge an Sprachinformation, dann aber rapide und nahezu sprunghaft, zusätzliche Informationselemente bei vollständiger Verständlichkeit nutzt. Der sprunghafte Anstieg der zweiten Wachstumsfunktion bei sehr guter Verständlichkeit kann also mit einer beschleunigten Identifizierung des Testwortes im individuellen Wortschatz erklärt werden.

Beim Vergleich der Kurvenverläufe in Abbildung 15 offen vs. geschlossen fällt auf, dass der Zusammenhang Wörter–Laute in beiden Präsentationsarten die höchsten j-Faktoren aufweist. Dies ist insofern plausibel, da die Laute die Basis der Wörter als komplexeste Spracheinheit bilden und die zweisilbigen Testwörter bedeutend mehr Laute als Silben beinhalten. In der offenen Präsentation ohne Vorlagenkontext zeigen die höheren j-Werte gegenüber der geschlossenen Präsentation eine Zunahme der zur Wortidentifikation verwendeten Anzahl an Lauten und Sprachinformationseinheiten an. In derselben Weise erhöht sich der Wert der j-Faktoren auch in der Silbenidentifikation auf Grundlage der Lautidentifikation. Der auffälligste Unterschied in Abbildung 15 betrifft die die j-Werte im Silben-Laut-Vergleich zwischen der offenen und geschlossenen Präsentation. Mit dem Vorlagenkontext reduzierten sich die j-Werte so erheblich, dass ihr Verlauf mit denen der Wort–Laut–Identifikation fast übereinstimmt.

#### 4.4 Vergleich mit den Ergebnissen von Boothroyd und Nittrouer

Die Tabelle 19 zeigt die Werte von k und j bei der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zu den Werten von Boothroyd und Nittrouer (1988).

Vorliegende Untersuchung			Boothroyd & Nittrouer		
k	Wörter	3,52	k	Wörter	1,3
	Silben	4,46		Sätze	2,7
	Laute	5,23			
j offen	Laute-Silben	2,23	j	CVC-Wörter	2,5
	Silben-Wörter	1,49		ZP-Sätze	1,6
	Laute-Wörter	5,36			
j geschlossen	Laute-Silben	1,31			
	Silben-Wörter	1,69			
	Laute-Wörter	2,92			

Tabelle 19: Vergleich der Werte für k und j bei diesem Versuchsaufbau mit den Werten nach Boothroyd und Nittrouer 1988 (CVC = Consonant-Vowel-Consonant, ZP= Zero Predictable)

Aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen ist ein direkter Vergleich der Werte miteinander schwierig. Die Größenordnung der Effekte bei j ist bei beiden Untersuchungen ähnlich anzusehen, bei k liegen die Werte von Boothroyd und Nittrouer allerdings niedriger als bei dieser Untersuchung. Boothroyd und Nittrouer stellen die Vermutung auf, dass k-Werte in mehrsilbigen Wörtern höher sein werden, weil diese durch die größere Anzahl an Sprachelementen auch mehr Kontext (im Sinne der Informationskanäle) innerhalb eines Wortes bieten können (Boothroyd und Nittrouer 1988). Dies könnte eine Erklärung liefern, weshalb die k-Werte in diesem Versuch höher liegen (zweisilbig vs. einsilbig bei Boothroyd und Nittrouer). Des Weiteren haben Boothroyd und Nittrouer vermerkt, dass keine Verallgemeinerung der Werte möglich ist, die Ergebnisse können nicht als Norm gesehen werden. Testmaterial, Stimulationstyp, Themenauswahl, etc. beeinflussen Effekte.

Die unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen liegen vor allem bei dem jeweils verwendeten Testmaterial. Hier wurde mit dem OLKI mit einem Kinderreimtest gearbeitet, welcher aus zweisilbigen, dem kindlichen Wortschatz entspringenden Auswahlwörtern besteht. Auch die Vorgehensweise mit einem offenen und geschlossenen Präsentationsmodus wird nur bei der hier vorliegenden Arbeit angewandt. Boothroyd und Nittrouer hingegen verwenden in ihrer Untersuchung Wortmaterial in englischer Sprache ausgelegt für Erwachsene, es kommen einsilbige Wörter, unsinnige Silben, sowie HP (High Predictable), LP (Low Predictable) und ZP (Zero Predictable) Sätze mit vier Wörtern zum Einsatz (Boothroyd und Nittrouer 1988).

Gleich in beiden Versuchsaufbauten ist die Präsentation des Testmaterials im Störgeräusch und auch die Anzahl und Auswahl an Testpersonen sind ähnlich (40 normalhörende junge Erwachsene in dieser Studie vs. 32 normalhörende junge Erwachsene bei Boothroyd und Nittrouer).

Ergebnisse von Boothroyd und Nittrouer (1988):

Experiment 1: SV der Phoneme in Wörtern höher als in Nonsense-Silben (= unsinnige Silben), SV der Wörter höher als Nonsense-Silben

Die Ergebnisse bestätigen, dass lexikalische, syntaktische und semantische Faktoren die Sprachverständlichkeit der Phoneme und Wörter im Störgeräusch erhöhen.

Die in den von Boothroyd und Nittrouer erhaltenen Werte für  $j$  sind sowohl bei den CVC-Wörtern als auch bei den ZP-Sätzen unabhängig von der Erkennungswahrscheinlichkeit, jedoch nicht bei den LP- und HP-Sätzen. Boothroyd und Nittrouer interpretieren dies dahingehend, als dass für die Erkennung des Ganzen sprachliche Bedingungen (wie semantische oder syntaktische Einflüsse) zunehmend an Bedeutung und Wichtigkeit gewinnen bei kleiner werdenden SNRs aufgrund der zunehmenden Unhörbarkeit. Die Annahme, dass der Wert von  $j$  bei den CVC-Wörtern und ZP-Sätzen den Wert der Anzahl an einzelnen Teilen des Ganzen annimmt, wurde bestätigt (Boothroyd und Nittrouer 1988).

Boothroyd und Nittrouer haben die Daten von Miller et al. (1951) und Boothroyd (Boothroyd 1978) in ihre zur Berechnung der  $k$ -Faktoren eingesetzt und herausgefunden, dass der Wert von  $k$  über weite Bereiche von  $p_i$  hinweg konstant ist. Ähnliche Ergebnisse zeigten auch die Untersuchungen über Kontexteffekte der Sprachverständlichkeit bei Hörgeschädigten (Boothroyd 1985; Schiavetti, N., Sittler, R. W., Metz, D. E., und Houde, R. A 1984).

Boothroyd und Nittrouer sehen in der Ausdrucksweise des Kontexteffekts durch den Quotienten der Logarithmen der Fehlerwahrscheinlichkeiten für Kontext- und kontextfreie Situationen eine Möglichkeit zum Erhalt einer dimensionslosen Größe, welche das Ausmaß des Kontexteffekts beschreibt und zugleich unabhängig vom Grad und Typ der Degradierung des Sprachsignals ist (Boothroyd und Nittrouer 1988).

## 4.5 Diskussion der Hypothesen

1. *Hypothese: Ein Kontexteffekt durch die schriftliche a priori Bekanntgabe der drei Testwörter, die sich nur um einen Laut unterscheiden und aus denen ein Zielwort ausgewählt wird, sollte sich durch eine Erhöhung der Sprachverständlichkeit bei geschlossenem Testverfahren gegenüber dem offenen Verfahren zeigen.*

Eine erhöhte Sprachverständlichkeit in geschlossener Präsentation konnte eindeutig nachgewiesen werden, es zeigten sich signifikante Mittelwertunterschiede bei geschlossenem gegenüber offenem Testverfahren (siehe Tabelle 5 und Abbildung 18). Dies ist auf den Kontexteffekt durch die a priori Bekanntgabe der Wörter in dem geschlossenen Verfahren zurückzuführen (vgl. Diskussion 4.2). Auch die Diskriminationsfunktionen in Abbildung 5 sowie die dazugehörigen Werte in Tabelle 6 zeigen, dass in der geschlossenen Darbietung jeweils eine größere Sprachverständlichkeit erzielt werden konnte. Der Einfluss des Kontexteffekts ist in Abbildung 6 sichtbar. Bei allen drei Teststimuli (Wörter, Silben, Laute) ergibt sich ein Gewinn an Sprachverständlichkeit, am meisten bei niedriger Basisverständlichkeit (vgl. 4.2). Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen ebenso den Gewinn an Sprachverständlichkeit in der geschlossenen Darbietung gegenüber der offenen Darbietung und in Tabelle 8 wird der maximale Gewinn an Sprachverständlichkeit in Prozentpunkten angegeben.

Somit wurde die erste Hypothese eindeutig bestätigt.

2. *Hypothese: Da sich durch die a priori Bekanntgabe die Auswahlmöglichkeit eines Testwortes auf die drei Antwortalternativen reduziert, sollte sich die Wahrscheinlichkeit der Testworterkennung unter nicht optimalen Hörbedingungen gegenüber der offenen Darbietung erhöhen, weil eine vergleichbare Hilfestellung wie die semantische und syntaktische Beziehung zwischen den Wörtern eines sinnvollen Satzes besteht. Dadurch sollten sich die j-Faktoren der Wörter durch den Kontexteffekt bei geschlossener gegenüber offener Präsentation verringern.*

Den Gewinn an SV, welcher in der geschlossenen Darbietung durch die a priori Bekanntgabe erzielt werden konnte, zeigen Abb. 7 und 8. Der maximale Gewinn für die Verständlichkeit der Wörter lag bei 45,7%-Punkten (s. Tab. 8). Vergleicht man die Werte aus Tabelle 10 für die j-Faktoren der Wörter (also j Laute-Wörter und j Silben-Wörter) jeweils offen und geschlossen miteinander, so ist eine deutliche Verringerung des j-Faktors bei der Laute-Wörter-Kombination sichtbar (2,92 geschlossen zu 5,36 offen). Die relative Veränderung des j-Wertepaares für Laute-Wörter beträgt 0,54 (vgl. Tab. 17). Der Kontexteffekt bewirkt hier also eine deutliche Verringerung, nahezu eine Halbierung des j-Wertes, das heißt die zur Wortidentifikation verwendete Anzahl an Lauten ist in der geschlossenen Darbietung nur halb so groß wie in der offenen Darbietung. Bei der Silben-Wörter-Kombination allerdings bleiben die Werte annähernd gleich (1,69 geschlossen und 1,49 offen), es zeigt sich keine Verringerung des j-Faktors in der geschlossenen Darbietung. Wie bereits unter 4.3 erläutert ist dies darauf zurückzuführen, dass es sich bei dem vorliegenden Testmaterial des OLKI um einen Reimtest handelt, dessen Testwortalternativen sich nur um einen Laut unterscheiden und daher die Beschränkung auf die zu beachtenden Laute bei der a priori Bekanntgabe der Testwörter den wesentlichen Kontexteffekt darstellen (vgl. Diskussion Abschnitt 4.3). Somit kann diese Hypothese also nur für die Kombination j Laute-Wörter bestätigt werden, für j Silben-Wörter wird sie abgelehnt.

*3. Hypothese: Da sich die Antwortalternativen im OLKI nur durch Veränderung bei einem Laut unterscheiden und damit allein die richtige Erkennung dieses Lautes im Zielwort schon zu einer richtigen Antwort führen kann, sollte sich der j-Faktor des Laut- und Silbenkontexts bei geschlossener Darbietung der Testwörter verringern.*

Anhand der Daten aus Tabelle 10 ist ersichtlich, dass der j-Faktor für Laute-Silben in der geschlossenen Darbietung kleiner ist als in der offenen (1,31 geschlossen zu 2,23 offen). Wie bereits unter Abschnitt 4.3 und Tabelle 17 beschrieben, reduziert sich der j-Faktor durch die Wortvorlagen in der geschlossenen Präsentation auf fast die Hälfte des Wertes der offenen Präsentation (relative Veränderung 0,59, Tab. 17),

die Anzahl an benötigten Lauten zur Identifikation einer Silbe ist in der geschlossenen Darbietung also nur halb so groß wie in der offenen Darbietung. Abbildung 15 zeigt auch noch einmal die deutliche Verringerung des j-Faktors in der Silben-Laut-Kombination.

Demnach kann diese Hypothese wieder eindeutig bestätigt werden.

#### 4.6 Grenzen der Modelle und Kritik

Wie bereits erwähnt weist der OLKI keine idealen Testbedingungen auf, um die k- und j- Werte zu berechnen (siehe Abschnitt 4.1). In diesem Versuch wurden zum Teil so hohe j-Werte erhalten, die theoretisch gar nicht möglich sind, da gar nicht so viele einzelne Elemente vorhanden sind. Dies war in einer ersten Darstellung der Rohwerte von j sichtbar.

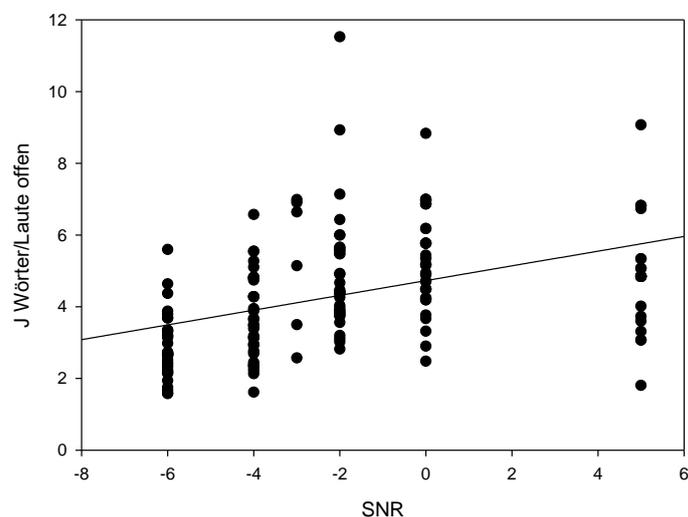


Abbildung 21: Darstellung der Rohwerte von j Wörter/Laute in der offenen Präsentation. Bei SNR=5, SNR=0 und SNR=-2 sind diese hohen Werte sichtbar, die theoretisch mit dem verwendeten Sprachmaterial nicht möglich sein können (max. Lautanzahl von 7)

Eine mögliche Erklärung wäre, dass diese hohen Werte immer dann entstanden sind, wenn viele Laute verstanden worden sind, die Wörter allerdings trotzdem falsch waren. Dies war häufig der Fall bei Wörtern mit der Endung -en, wie Rosen, Booten, schlagen, Schlangen. Manche Laute sind einfacher oder deutlicher zu verstehen als andere (durch artikulatorische, akustische, perzeptive Phonetik, koartikulatorischer Kontext).

Demnach sind mehr nutzbare Informationskanäle als zählbare Sprachelemente vorhanden, akustisch und kognitiv.

Laut Bronkhorst et al. (1993) kann Gleichung 6 nur dann angewandt werden, wenn alle Elemente des Ganzen dieselbe Erkennungswahrscheinlichkeit besitzen. Andernfalls stiege der Wert von  $j$  an und  $j$  wäre kein reines Maß mehr für den Kontexteffekt (Bronkhorst et al. 1993). Das sind aber schwierige Voraussetzungen für Untersuchungen im stationären Störgeräusch, da hier die Hörbarkeit eines Sprachelements von dessen Schallpegel abhängt. Unterschiedliche Laute sind unterschiedlich laut artikuliert und haben deshalb unterschiedliche Schallpegel, Laute mit hohem Pegel sind besser hörbar als die Laute mit geringem Pegel. Dies ist mitunter auch die Ursache, warum bei niedrigen SNRs die Nutzung von Kontexteffekten zunimmt (wenn man das in der jeweiligen Sprache auch beherrscht).

Außerdem kritisieren Bronkhorst et. al (1993) an dem Modell von Boothroyd, dass beide Faktoren,  $k$  und  $j$ , den Kontexteffekt quantifizieren, dies jedoch nicht mathematisch hergeleitet werden kann. Des Weiteren kann der Effekt von systematischen Unterschieden zwischen den Erkennungswahrscheinlichkeiten von einzelnen Elementen (z.B. Vokale und Konsonanten) nicht beurteilt werden (Bronkhorst et al. 1993). Smits und Zekveld (2021) weisen außerdem daraufhin, dass in dem Ursprungs-Modell von Boothroyd keine Unterschiede in der Erkennungswahrscheinlichkeit von Wörtern in Isolation berücksichtigt werden (Smits und Zekveld 2021).

## 5 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass in den Testwörtern des OLKI mathematischer Kontext vorliegt. Die Annahme, dass durch die a priori Kenntnisse bei der geschlossenen Testvariante eine höhere Sprachverständlichkeit vorliegt als bei der offenen Variante, wurde eindeutig bestätigt, es zeigten sich signifikante Unterschiede.

Es konnte ein Vorteil des Kontexteffekts durch die Vorlage der Wörter erzielt werden, was sich vor allem in einer Verringerung des j-Faktors bei den Lauten und Silben in der geschlossenen Präsentation darstellt. Die höchsten Werte für k, welche den Kontexteffekt widerspiegeln, konnten bei den Lauten erzielt werden.

Der größte Gewinn durch den vorliegenden Kontext konnte in niedrigen SNR-Bereichen erzielt werden. Somit können Patienten mit teilweise Hörverlust am meisten von dem Kontexteffekt profitieren.

Die Studie zeigte, dass sowohl der k- als auch der j-Wert von dem SNR und dem SVI abhängig sind. Weiter stellte sich heraus, dass j zwei Wachstumsprozessen unterliegt, der Hörbarkeit und der Sprachverständlichkeit.

### Ausblick

In der hier vorliegenden Studie wurde bewusst auf ein Training der Testpersonen verzichtet, da der Kontexteffekt unter realistischen Bedingungen geprüft werden sollte. Es stellt sich jedoch die Frage, ob immer 100% erreicht werden können, wenn der Hörer vorab trainiert wird. Das wäre bei normalhörenden, jungen Akademikern bei diesen einfachen Wörtern anzunehmen. Bei der geschlossenen Variante, bei welcher man die Auswahlwörter vor sich liegen hat, müsste man sich dann nur auf den einen sich unterscheidenden Laut konzentrieren. Dies könnte in einer weiteren Studie mit zielgerichtetem Training untersucht werden. Außerdem wäre es interessant in einer weiteren Untersuchung den Einsilber-Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier als Wortmaterial bei sonst unverändertem Testaufbau zu verwenden (Wallenberg und Kollmeier 1989). Dieser weist eine größere Anzahl an Wörtern und Auswahlmöglichkeiten als der OLKI auf, wodurch mit einer Reduktion an Zufallseffekten gerechnet werden kann.

Als weiterführender Test wäre auch die Durchführung dieses Versuchs mit normalhörenden Kindern der 2. und 3. Jahrgangsstufe, welche die eigentliche Zielgruppe des Tests darstellt, wünschenswert. Es stellen sich die Fragen, welche Streubreiten sich dann ergeben würden und welche Unterschiede man zu den Ergebnissen dieser Studie mit jungen Erwachsenen feststellen kann. Zum anderen könnte die Durchführung auch dahingehend modifiziert werden, indem „schwierigere“, also nicht so gebräuchliche Wörter oder Wörter mit mehreren Silben verwendet werden, unter Beibehaltung der jungen Erwachsenen als Testpersonen, um einen genauen Vergleich der Ergebnisse aufstellen zu können.

Außerdem wäre die Durchführung des Tests mit Hörgeschädigten bei ansonsten unverändertem Versuchsaufbau von Interesse. Wie viel Kontext wäre bei diesen Personen nötig, um die Wörter zu verstehen und welche Unterschiede würde man zu dieser Studie feststellen?

Interessant wäre zudem eine genauere Untersuchung der Testwörter auf den eingangs beschriebenen koartikulatorischen Kontext. Wie viel von der akustischen Feinstruktur ist im Störgeräusch hörbar, bzw. bis zu welchen SNRs spielt dies überhaupt eine Rolle?

2006 wurde von Wagener et. al. eine neue Oldenburger Version des OLKI im Störgeräusch entwickelt, mit sprechersimulierendem, perzeptiv ausgeglichenem Störgeräusch (Wagener et al. 2006). Es handelt sich hierbei um ein kontinuierliches sprachsimulierendes Rauschen, welches durch statistische Überlagerung aller Wörter des Einsilber-Reimtests nach von Wallenberg und Kollmeier (WAKO) erstellt wurde (Wallenberg und Kollmeier 1989). Interessant wäre nun die Durchführung der Tests mit diesem Sprachmaterial und Störgeräusch: Welche Unterschiede ergeben sich im Vergleich zu der hier durchgeführten Studie? Spielt das Störgeräusch eine wesentliche Rolle?

## 6 Literaturverzeichnis

Biesalski, P., Leitner, H., Leitner, E., Gangel, D. (1974): Der Mainzer Kindersprachtest. In *HNO* 22, pp. 160–161.

Böhme, Gerhard; Welzl-Müller, Kunigunde (2005): Audiometrie. Hörprüfungen im Erwachsenen- und Kindesalter ; ein Lehrbuch. 5., überarb. und erw. Aufl. Bern: Huber.

Boothroyd, A. (1978): Speech perception and sensorineural hearing loss. edited by M. Ross and T. G. Giolas (University Park, Baltimore, MD). In *Auditory Management of Hearing-Impaired Children*.

Boothroyd, A. (1985): Measurement of speech production in hearing-impaired children: Some benefits of forced-choice testing. In *J Speech Hear Res* (28), pp. 185–196.

Boothroyd, A.; Nittrouer, S. (1988): Mathematical treatment of context effects in phoneme and word recognition. In *The Journal of the Acoustical Society of America* 84 (1), pp. 101–114. DOI: 10.1121/1.396976.

Bosman, A. J. (1989): Speech Perception by the Hearing Impaired. Doctoral Thesis. University of Utrecht, Utrecht, The Netherlands.

Brand, T.; Achtzehn, J.; Kollmeier, B. (1999): Erstellung von Testlisten für den Oldenburger Kinderreimtest. In *Z Audiol* (02), pp. 44–56.

Bronkhorst, Adelbert W.; Bosman, Arjan J.; Smoorenburg, Guido F. (1993): A model for context effects in speech recognition. In *The Journal of the Acoustical Society of America* 93 (1), pp. 499–509. DOI: 10.1121/1.406844.

Bronkhorst, Adelbert W.; Brand, Thomas; Wagener, Kirsten (2002): Evaluation of context effects in sentence recognition. In *The Journal of the Acoustical Society of America* 111 (6), pp. 2874–2886. DOI: 10.1121/1.1458025.

Bussmann, Hadumod (2008): Lexikon der Sprachwissenschaft. 4., durchgesehene und bibliographisch ergänzte Auflage. Stuttgart: Alfred Kröner.

Dirks, Donald D.; Takayanagi, Sumiko; Moshfegh, Anahita; Noffsinger, P. Douglas; Fausti, and Stephen A. (2001): Examination of the Neighborhood Activation Theory in Normal and Hearing-Impaired Listeners. In *Ear and Hearing* 22 (1), pp. 1–13. DOI: 10.1097/00003446-200102000-00001.

Döring, W. H., Hamacher, V. (1992): Neue Sprachverständlichkeitstests in der Klinik: Aachener Logatomtest und »Dreinsilbertest« mit Störschall. In Birger Kollmeier (Ed.): *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. Heidelberg: Median-Verl. von Killisch-Horn (Buchreihe audiologische Akustik, Bd. 1), pp. 137–168.

Eisenberg, Laurie S.; Schaefer Martinez, Amy; Holowecky, Suzanne R.; Pogorelsky, Stephanie (2002): Recognition of Lexically Controlled Words and Sentences by Children with Normal Hearing and Children with Cochlear Implants. In *Ear and Hearing* 23, pp. 450–462.

Eisenberg, Laurie S.; Shannon, Robert V.; Schaefer Martinez, Amy; Wygonski, John; Boothroyd, Arthur (2000): Speech recognition with reduced spectral cues as a function of age. In *J Acoust Soc Am* 107 (5).

Fletcher, H., & Galt, R. H. (1950): The perception of speech and its relation to telephony. In *Journal of the Acoustical Society of America* 22, pp. 89–150.

Hahlbrock, K. H. (1953): Über Sprachaudiometrie und neue Wörtertteste. In *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* (162(5)), pp. 394–431.

Luce, P. A.; Pisoni, D. B. (1998): Recognizing Spoken Words: The Neighborhood Activation Model. In *Ear and Hearing* (19), pp. 1–36.

Menzerath, Paul (1954): Die Architektonik des deutschen Wortschatzes: F. Dümmler (Phonetische Studien, Band 3).

Miller, G. A., Heise, G. A., and Lichten, W. (1951): The Intelligibility of Speech as a Function of the Context of the Test Materials. In *J. Exp. Psychol.* 41, pp. 329–335.

Mrowinski, Dieter; Scholz, Günther; Steffens, Thomas (2017): *Audiometrie. Eine Anleitung für die praktische Hörprüfung*. 5., aktualisierte und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme.

Schiavetti, N., Sittler, R. W., Metz, D. E., and Houde, R. A (1984): Prediction of contextual speech intelligibility from isolated word intelligibility measures. In *J Speech Hear Res* 27, pp. 623–626.

Smits, Cas; Zekveld, Adriana A. (2021): Approaches to mathematical modeling of context effects in sentence recognition. In *The Journal of the Acoustical Society of America* 149 (2), p. 1371. DOI: 10.1121/10.0003580.

Steffens, T. (2003): Oldenburger Kinderreimtest (OLKI) im sprachsimulierenden Störgeräusch (Regensburger Variante). Testmodifikationen und Normalwerte für die Altersklasse 7-10 Jahre. In *HNO* 51 (12), pp. 1012–1018. DOI: 10.1007/s00106-003-0848-4.

Steffens, T. (2007): Entwicklung und Referenzierung eines pädaudiologischen Sprachaudiometrieverfahrens im Störgeräusch und dessen Evaluation an Kindern mit Hörstörung.

Studebaker, G. A., & Sherbecoe, R. L. (1991): Frequency-Importance and Transfer Functions for Recorded CID W-22 Word Lists. In *Journal of Speech Language and Hearing Research* 34(2), p. 427.

Wagener, K. C.; Brand, T.; Kollmeier, B. (2006): Evaluation des Oldenburger Kinder-Reimtests in Ruhe und im Störgeräusch. In *HNO* 54 (3), pp. 171–178. DOI: 10.1007/s00106-005-1304-4.

Wagener, K. C.; Kühnel, V.; Kollmeier, B. (1999): Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. In *Zeitschrift für Audiologie* (01), pp. 4–15.

Wallenberg, E. von; Kollmeier, B. (1989): Sprachverständlichkeitsmessungen für die Audiologie mit einem Reimtest in deutscher Sprache: Erstellung und Evaluation von Testlisten. In *Audiologische Akustik* (28 (2)), 50-65.

Wesselkamp, M.; Kliem, K.; Kollmeier, B. (1992): Erstellung eines Satztests in deutscher Sprache. In Birger Kollmeier (Ed.): *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. Heidelberg: Median-Verl. von Killisch-Horn (Buchreihe audiologische Akustik, Bd. 1), pp. 330–343.

## 7 Anhang

### 7.1 Messwerte

Bereinigte Messwerte nach Arcus-Sinus Transformation:

SNR	Wörter offen	Silben offen	Laute offen	SNR	Wörter geschlossen	Silben geschlossen	Laute geschlossen
5	0,83333333	0,91666667	0,98076923	5	1	1	1
5	0,66666667	0,83333333	0,96153846	0	0,75	0,875	0,94545455
5	0,66666667	0,83333333	0,98076923	0	0,83333333	0,91666667	0,98181818
5	0,75	0,79166667	0,98076923	0	0,83333333	0,91666667	0,96363636
5	0,58333333	0,79166667	0,98076923	0	0,83333333	0,91666667	0,96363636
5	0,75	0,875	0,96153846	0	0,91666667	0,95833333	0,98181818
5	0,5	0,66666667	1	0	0,83333333	0,91666667	0,97959184
5	0,75	0,875	0,96153846	0	0,83333333	0,91666667	0,95918367
5	0,75	0,875	1	0	0,83333333	0,91666667	0,97959184
5	0,83333333	0,875	0,90384615	0	0,91666667	0,95833333	1
5	0,58333333	0,79166667	0,86538462	0	0,83333333	0,91666667	0,95918367
5	0,75	0,875	0,94230769	0	1	1	1
5	0,75	0,83333333	0,96153846	0	0,83333333	0,91666667	1
5	0,75	0,875	0,94230769	0	0,91666667	0,91666667	0,97959184
5	0,75	0,875	0,94230769	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184
5	0,58333333	0,70833333	0,90384615	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184
5	0,66666667	0,83333333	0,94230769	0	1	1	1
5	0,58333333	0,75	0,94230769	0	0,91666667	0,95833333	1
5	0,66666667	0,75	0,94230769	0	1	1	1
5	0,58333333	0,75	0,92307692	0	0,83333333	0,91666667	0,97959184
5	0,91666667	0,95833333	1	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184
5	0,83333333	0,91666667	0,96153846	0	0,83333333	0,91666667	0,97959184
5	0,66666667	0,83333333	0,92307692	0	0,83333333	0,91666667	1
5	0,58333333	0,70833333	0,90384615	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184
5	0,75	0,83333333	0,94230769	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184
5	0,66666667	0,83333333	0,92307692	0	0,75	0,875	0,93877551
5	0,83333333	0,91666667	0,94230769	0	1	1	1
5	0,66666667	0,75	0,88461538	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184
5	0,75	0,875	0,94230769	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184
5	0,75	0,875	0,94230769	0	0,83333333	0,91666667	0,95918367
5	0,75	0,875	0,98076923	0	0,83333333	0,91666667	0,95918367
5	0,83333333	0,875	0,94230769	0	1	1	1
5	0,75	0,875	0,92307692	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184
5	0,75	0,83333333	0,98076923	0	1	1	1
5	0,75	0,83333333	0,96153846	0	0,75	0,875	0,97959184
5	0,83333333	0,91666667	1	0	0,83333333	0,91666667	0,95918367
5	0,66666667	0,79166667	0,98076923	0	0,83333333	0,91666667	0,97959184
5	0,66666667	0,83333333	0,90384615	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184
5	0,91666667	0,95833333	1	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184
5	0,75	0,875	0,96153846	0	1	1	1
0	0,58333333	0,75	0,9245283	0	0,91666667	0,95833333	0,97959184

0	0,6666667	0,7916667	0,9245283	-3	0,9166667	0,95833333	0,97959184
0	0,4166667	0,5416667	0,8490566	-3	0,83333333	0,875	0,93877551
0	0,5	0,58333333	0,88679245	-3	0,83333333	0,9166667	0,95918367
0	0,4166667	0,5416667	0,83018868	-3	0,9166667	0,95833333	0,97959184
0	0,6666667	0,75	0,9245283	-3	0,9166667	0,95833333	0,97959184
0	0,5	0,625	0,90566038	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,6666667	0,7916667	0,94339623	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,4166667	0,5	0,81132075	-3	0,75	0,83333333	0,94545455
0	0,6666667	0,7916667	0,9245283	-3	0,83333333	0,9166667	0,94545455
0	0,58333333	0,70833333	0,83018868	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,4166667	0,625	0,8490566	-3	0,9166667	0,95833333	0,98181818
0	0,4166667	0,5416667	0,90566038	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,75	0,7916667	0,9245283	-3	0,83333333	0,95833333	0,96363636
0	0,58333333	0,70833333	0,9245283	-3	0,75	0,875	0,96363636
0	0,5	0,58333333	0,8490566	-3	0,75	0,875	0,94545455
0	0,58333333	0,75	0,88679245	-3	0,9166667	0,95833333	0,98181818
0	0,6666667	0,7916667	0,96226415	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,4166667	0,5416667	0,83018868	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,75	0,7916667	0,94339623	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,4166667	0,58333333	0,86792453	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,58333333	0,7916667	0,9245283	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,83333333	0,875	0,96226415	-3	0,75	0,875	0,94545455
0	0,5	0,58333333	0,86792453	-3	0,9166667	0,95833333	0,98181818
0	0,58333333	0,6666667	0,88679245	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,4166667	0,58333333	0,86792453	-3	0,9166667	0,95833333	0,98181818
0	0,58333333	0,75	0,90566038	-3	0,6666667	0,83333333	0,92727273
0	0,6666667	0,75	0,8490566	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,5	0,625	0,86792453	-3	0,9166667	0,95833333	0,98181818
0	0,5	0,6666667	0,81132075	-3	0,9166667	0,95833333	0,98181818
0	0,58333333	0,70833333	0,88679245	-3	0,9166667	0,95833333	0,98181818
0	0,5	0,6666667	0,8490566	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,5	0,6666667	0,88679245	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,83333333	0,875	0,98113208	-3			
0	0,4166667	0,45833333	0,81132075	-3	0,75	0,875	0,94545455
0	0,5	0,6666667	0,90566038	-3	0,75	0,875	0,94545455
0	0,6666667	0,75	0,94339623	-3	0,83333333	0,9166667	0,96363636
0	0,5	0,625	0,88679245	-3	0,9166667	0,95833333	0,98181818
0	0,5	0,625	0,88679245	-3	0,9166667	0,95833333	0,98181818
0	0,4166667	0,58333333	0,79245283	-3	0,6666667	0,83333333	0,92727273
-3	0,5	0,58333333	0,76363636	-3	0,75	0,875	0,92592593
-3	0,25	0,33333333	0,81818182	-6	0,75	0,83333333	0,90740741
-3	0,1666667	0,45833333	0,76363636	-6	0,5	0,75	0,90740741
-3	0,25	0,33333333	0,67272727	-6	0,75	0,875	0,94444444
-3	0,25	0,375	0,76363636	-6	0,6666667	0,83333333	0,94444444
-3	0,33333333	0,58333333	0,85454545	-6	0,83333333	0,9166667	0,96296296
-2	0,25	0,375	0,70909091	-6	0,83333333	0,9166667	0,98148148
-2	0,58333333	0,7916667	0,90909091	-6	0,5	0,7916667	0,7962963
-2	0,5	0,58333333	0,8	-6	0,33333333	0,58333333	0,83333333

-2	0,41666667	0,58333333	0,87272727	-6	0,75	0,875	0,96296296
-2	0,75	0,83333333	0,92727273	-6	0,5	0,70833333	0,88888889
-2	0,5	0,625	0,83636364	-6	0,58333333	0,79166667	0,92592593
-2	0,33333333	0,625	0,90909091	-6	0,66666667	0,83333333	0,92592593
-2	0,5	0,70833333	0,83636364	-6	0,75	0,875	0,94444444
-2	0,5	0,58333333	0,89090909	-6	0,58333333	0,75	0,90740741
-2	0,41666667	0,625	0,78181818	-6	0,66666667	0,83333333	0,92592593
-2	0,33333333	0,58333333	0,78181818	-6	0,75	0,79166667	0,88888889
-2	0,58333333	0,70833333	0,87272727	-6	0,58333333	0,79166667	0,92592593
-2	0,33333333	0,54166667	0,81818182	-6	0,75	0,875	0,94444444
-2	0,33333333	0,54166667	0,8	-6	0,58333333	0,79166667	0,90740741
-2	0,58333333	0,75	0,92727273	-6	0,58333333	0,79166667	0,92592593
-2	0,66666667	0,79166667	0,90909091	-6	0,91666667	0,95833333	0,98148148
-2	0,41666667	0,58333333	0,85454545	-6	0,91666667	0,91666667	0,98148148
-2	0,5	0,58333333	0,85454545	-6	0,66666667	0,83333333	0,92592593
-2	0,5	0,66666667	0,85454545	-6	0,5	0,70833333	0,87037037
-2	0,41666667	0,58333333	0,85454545	-6	0,5	0,75	0,90740741
-2	0,41666667	0,625	0,83636364	-6	0,58333333	0,79166667	0,87037037
-2	0,33333333	0,5	0,70909091	-6	0,58333333	0,75	0,92592593
-2	0,25	0,45833333	0,69090909	-6	0,41666667	0,625	0,81481481
-2	0,41666667	0,625	0,81818182	-6	0,75	0,875	0,96296296
-2	0,5	0,66666667	0,89090909	-6	0,91666667	0,95833333	0,98148148
-2	0,58333333	0,66666667	0,89090909	-6	0,75	0,83333333	0,92592593
-2	0,58333333	0,70833333	0,90909091	-6	0,75	0,875	0,96296296
-2	0,75	0,83333333	0,92727273	-6	0,75	0,875	0,96296296
-2	0,33333333	0,45833333	0,74545455	-6	0,75	0,83333333	0,90740741
-2	0,33333333	0,54166667	0,81818182	-6	0,66666667	0,79166667	0,90740741
-2	0,5	0,58333333	0,78181818	-6	0,58333333	0,79166667	0,94444444
-2	0,16666667	0,41666667	0,81818182	-6	0,66666667	0,83333333	0,92592593
-2	0,41666667	0,54166667	0,81818182	-6	0,5	0,75	0,88888889
-2	0,58333333	0,70833333	0,83636364	-6	0,58333333	0,79166667	0,92592593
-6	0,41666667	0,41666667	0,75925926	-6	0,83333333	0,91666667	0,96
-6	0,16666667	0,25	0,51851852	-9	0,58333333	0,66666667	0,72
-6	0,16666667	0,33333333	0,62962963	-9	0,5	0,75	0,88
-6	0,33333333	0,375	0,61111111	-9	0,41666667	0,66666667	0,78
-6	0,33333333	0,375	0,66666667	-9	0,58333333	0,75	0,86
-6	0,25	0,41666667	0,64814815	-9	0,58333333	0,75	0,84
-4	0,16666667	0,20833333	0,61111111	-9	0,25	0,29166667	0,56
-4	0,58333333	0,70833333	0,7962963	-9	0,5	0,58333333	0,62
-4	0,66666667	0,66666667	0,77777778	-9	0,5	0,625	0,68
-4	0,66666667	0,75	0,92592593	-9	0,58333333	0,70833333	0,78
-4	0,66666667	0,70833333	0,83333333	-9	0,5	0,66666667	0,8
-4	0,16666667	0,375	0,7037037	-9	0,75	0,875	0,94
-4	0,41666667	0,625	0,83333333	-9	0,58333333	0,70833333	0,8
-4	0,58333333	0,66666667	0,83333333	-9	0,33333333	0,54166667	0,72
-4	0,41666667	0,54166667	0,81481481	-9	0,33333333	0,58333333	0,74
-4	0,41666667	0,58333333	0,83333333	-9	0,33333333	0,41666667	0,46
-4	0,33333333	0,5	0,7037037	-9	0,58333333	0,75	0,84

-4	0,58333333	0,75	0,90740741	-9	0,41666667	0,70833333	0,86
-4	0,33333333	0,54166667	0,7962963	-9	0,66666667	0,83333333	0,9
-4	0,25	0,45833333	0,68518519	-9	0,41666667	0,54166667	0,6
-4	0,41666667	0,625	0,81481481	-9	0,66666667	0,83333333	0,92
-4	0,58333333	0,75	0,90740741	-9	0,58333333	0,79166667	0,9
-4	0,5	0,58333333	0,77777778	-9	0,41666667	0,70833333	0,88
-4	0,41666667	0,45833333	0,72222222	-9			
-4	0,5	0,58333333	0,81481481	-9	0,33333333	0,54166667	0,64
-4	0,16666667	0,375	0,68518519	-9	0,33333333	0,58333333	0,74
-4	0,41666667	0,54166667	0,77777778	-9	0,41666667	0,58333333	0,76
-4	0,58333333	0,66666667	0,7962963	-9	0,58333333	0,70833333	0,76
-4	0,66666667	0,70833333	0,87037037	-9	0,41666667	0,5	0,56
-4	0,25	0,375	0,7037037	-9	0,5	0,625	0,72
-4	0,58333333	0,70833333	0,87037037	-9	0,5	0,75	0,88
-4	0,5	0,54166667	0,72222222	-9	0,41666667	0,66666667	0,8
-4	0,5	0,58333333	0,74074074	-9	0,33333333	0,625	0,78
-4	0,75	0,79166667	0,88888889	-9	0,5	0,58333333	0,64
-4	0,33333333	0,45833333	0,7037037	-9	0,66666667	0,83333333	0,92
-4	0,41666667	0,54166667	0,81481481	-9	0,5	0,70833333	0,84
-4	0,41666667	0,58333333	0,75925926	-9	0,41666667	0,70833333	0,88
-4	0,08333333	0,33333333	0,68518519	-9	0,5	0,75	0,88
-4	0,41666667	0,625	0,83333333	-9	0,33333333	0,66666667	0,84
-4	0,41666667	0,54166667	0,77777778	-9	0,66666667	0,79166667	0,82
-9	0	0	0,18867925	-9	0,58333333	0,75	0,88235294
-9	0	0	0,18867925	-12	0,5	0,625	0,68627451
-9	0	0,08333333	0,33962264	-12	0,25	0,58333333	0,82352941
-9		0,08333333	0,20754717	-12	0,25	0,45833333	0,58823529
-9	0	0	0,35849057	-12	0,25	0,54166667	0,68627451
-9	0	0,04166667	0,20754717	-12	0,33333333	0,25	0,33333333
-6	0,16666667	0,16666667	0,39622642	-12	0,16666667	0,33333333	0,52941176
-6	0,25	0,33333333	0,41509434	-12	0	0	0
-6	0,25	0,29166667	0,56603774	-12	0,25	0,29166667	0,29411765
-6	0,16666667	0,33333333	0,58490566	-12	0,33333333	0,41666667	0,50980392
-6	0,08333333	0,20833333	0,50943396	-12	0,33333333	0,625	0,78431373
-6	0,16666667	0,20833333	0,49056604	-12	0,41666667	0,625	0,7254902
-6	0,08333333	0,20833333	0,32075472	-12	0,33333333	0,58333333	0,7254902
-6	0,16666667	0,25	0,58490566	-12	0,25	0,33333333	0,45098039
-6	0,08333333	0,125	0,39622642	-12	0,16666667	0,20833333	0,2745098
-6	0,08333333	0,125	0,20754717	-12	0,08333333	0,125	0,17647059
-6	0,08333333	0,16666667	0,45283019	-12	0,16666667	0,25	0,29411765
-6	0,16666667	0,33333333	0,62264151	-12	0,16666667	0,25	0,33333333
-6	0,08333333	0,16666667	0,39622642	-12	0,25	0,54166667	0,68627451
-6	0,25	0,29166667	0,43396226	-12	0,16666667	0,33333333	0,41176471
-6	0,08333333	0,20833333	0,43396226	-12	0,5	0,54166667	0,62745098
-6	0,33333333	0,41666667	0,62264151	-12	0,16666667	0,375	0,49019608
-6	0,08333333	0,20833333	0,50943396	-12	0,25	0,54166667	0,7254902
-6	0	0,08333333	0,45283019	-12	0	0,08333333	0,17647059
-6	0,16666667	0,29166667	0,50943396	-12	0,16666667	0,29166667	0,39215686

-6	0,16666667	0,25	0,50943396	-12	0	0	0,07843137
-6	0,08333333	0,25	0,58490566	-12	0	0,04166667	0,1372549
-6	0,16666667	0,20833333	0,43396226	-12	0,25	0,29166667	0,35294118
-6	0	0,16666667	0,49056604	-12	0,08333333	0,29166667	0,41176471
-6	0,16666667	0,375	0,50943396	-12	0,08333333	0,25	0,31372549
-6	0,33333333	0,41666667	0,71698113	-12	0,33333333	0,58333333	0,7254902
-6	0,16666667	0,20833333	0,35849057	-12	0,08333333	0,16666667	0,23529412
-6	0,08333333	0,375	0,64150943	-12	0,33333333	0,45833333	0,52941176
-6	0,41666667	0,45833333	0,71698113	-12	0,08333333	0,33333333	0,47058824
-6	0,16666667	0,20833333	0,47169811	-12	0,16666667	0,29166667	0,37254902
-6	0,08333333	0,33333333	0,56603774	-12	0,33333333	0,625	0,74509804
-6	0	0,04166667	0,26415094	-12	0,08333333	0,125	0,17647059
-6	0	0,125	0,43396226	-12	0,25	0,58333333	0,76470588
-6	0	0,125	0,43396226	-12	0,16666667	0,33333333	0,47058824
-6	0,16666667	0,25	0,43396226	-12	0,08333333	0,20833333	0,29411765

## 7.2 Mann-Whitney-U Test für SVI-Unterschiede zwischen der offenen und geschlossenen Präsentation

### Mann-Whitney Rank Sum Test

Data source: Data 1 in Notebook 1

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wo0	40	0	0,500	0,438	0,667
wg0	40	0	0,917	0,833	0,917

Mann-Whitney U Statistic= 24,000

T = 844,000 n(small)= 40 n(big)= 40 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### Mann-Whitney Rank Sum Test

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test (Shapiro-Wilk): Passed (P = 0,167)

Equal Variance Test: Failed (P < 0,050)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
so0	40	0	0,667	0,583	0,750
sg0	40	0	0,958	0,917	0,958

Mann-Whitney U Statistic= 3,000

T = 823,000 n(small)= 40 n(big)= 40 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### **Mann-Whitney Rank Sum Test**

**Data source:** Data 1 in Notebook1

**Normality Test (Shapiro-Wilk):** Failed (P < 0,050)

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
lo0	40	0	0,887	0,849	0,925
lg0	40	0	0,980	0,980	1,000

Mann-Whitney U Statistic= 44,000

T = 864,000 n(small)= 40 n(big)= 40 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### **Mann-Whitney Rank Sum Test**

**Data source:** Data 1 in Notebook1

**Normality Test (Shapiro-Wilk):** Failed (P < 0,050)

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
wo-3	6	0	0,250	0,229	0,375
wg-3	39	0	0,833	0,833	0,917

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 21,000 n(small)= 6 n(big)= 39 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### **Mann-Whitney Rank Sum Test**

**Data source:** Data 1 in Notebook1

**Normality Test (Shapiro-Wilk):** Failed (P < 0,050)

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
so-3	6	0	0,417	0,333	0,583
sg-3	39	0	0,917	0,917	0,958

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 21,000 n(small)= 6 n(big)= 39 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### Mann-Whitney Rank Sum Test

Data source: Data 1 in Notebook1

Normality Test (Shapiro-Wilk): Failed (P < 0,050)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
lo-3	6	0	0,764	0,741	0,827
lg-3	39	0	0,964	0,959	0,982

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 21,000 n(small)= 6 n(big)= 39 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### Mann-Whitney Rank Sum Test

Data source: Data 1 in Notebook1

Normality Test (Shapiro-Wilk): Failed (P < 0,050)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wo-6	40	0	0,167	0,0833	0,229
wg-6	40	0	0,667	0,583	0,750

Mann-Whitney U Statistic= 5,000

T = 825,000 n(small)= 40 n(big)= 40 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### Mann-Whitney Rank Sum Test

Data source: Data 1 in Notebook1

Normality Test (Shapiro-Wilk): Passed (P = 0,478)

Equal Variance Test: Failed (P < 0,050)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
so-6	40	0	0,250	0,177	0,333
sg-6	40	0	0,833	0,792	0,875

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 820,000 n(small)= 40 n(big)= 40 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### Mann-Whitney Rank Sum Test

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test (Shapiro-Wilk): Failed (P < 0,050)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
lo-6	40	0	0,509	0,434	0,605
lg-6	40	0	0,926	0,907	0,956

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 820,000 n(small)= 40 n(big)= 40 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### Mann-Whitney Rank Sum Test

Data source: Data 1 in SV sig Unterschied offen geschlossen.JNB

Normality Test (Shapiro-Wilk): Passed (P = 0,075)

Equal Variance Test: Passed (P = 1,000)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wo-9	6	1	0,000	0,000	0,000
wg-9	40	1	0,500	0,417	0,583

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 15,000 n(small)= 5 n(big)= 39 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### Mann-Whitney Rank Sum Test

Data source: Data 1 in SV sig Unterschied offen geschlossen.JNB

Normality Test (Shapiro-Wilk): Passed (P = 0,545)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,106)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
so-9	6	0	0,0208	0,000	0,0833
sg-9	40	2	0,708	0,583	0,750

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 21,000 n(small)= 6 n(big)= 38 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### Mann-Whitney Rank Sum Test

**Data source:** Data 1 in SV sig Unterschied offen geschlossen.JNB

**Normality Test (Shapiro-Wilk):** Failed (P < 0,050)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
lo-9	6	0	0,208	0,189	0,344
lg-9	40	1	0,800	0,720	0,880

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 21,000 n(small)= 6 n(big)= 39 (P = <0,001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001)

### 7.3 ANOVA der Ränge bei Messwiederholung

Da die Werte für k und j nicht normalverteilt sind und auch nicht dieselbe Varianz aufweisen, wurde eine ANOVA der Ränge durchgeführt.

Da für die Berechnung nur solche Fälle einbezogen werden können, bei denen k und j in allen Subtests vorhanden war, kam es für jede Auswertung zu unterschiedlichen Anzahlen an Messwerten.

#### Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks

**Data source:** k in k j vs SNR ohne Ausreißer.JNB

**Normality Test (Shapiro-Wilk):** Failed (P < 0,0500)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
kw	87	14	3,5850	2,5720	7,6040
ks	87	10	3,6300	2,5360	5,9150
kl	87	15	2,3650	1,7905	3,5682

Chi-square= 84,2090 with 2 degrees of freedom. (P = <0,0001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,0001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P	P<0,050
kw vs kl	97,0000	11,8504	<0,0001	Yes
kw vs ks	11,0000	1,3439	0,6084	No

ks vs kl                    86,0000                    10,5066                    <0,0001                    Yes

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.

**Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks**

**Data source:** j in k j vs SNR ohne Ausreißer.JNB

**Normality Test (Shapiro-Wilk):** Failed (P < 0,0500)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
jsslgeschlossen	200	85	1,8664	1,3738	2,3690
jwlggeschlossen	200	85	3,6823	2,1436	5,1290
jwsggeschlossen	200	48	2,0954	1,7356	2,2077

Chi-square= 165,2321 with 2 degrees of freedom. (P = <0,0001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,0001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P	P<0,050
jwlggeschlosse vs jsslgeschlosse	170,0000	16,0635	<0,0001	Yes
jwlggeschlosse vs jwsggeschlosse	163,0000	15,4021	<0,0001	Yes
jwsggeschlosse vs jsslgeschlosse	7,0000	0,6614	0,8864	No

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.

**Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks**

**Data source:** j in k j vs SNR ohne Ausreißer.JNB

**Normality Test (Shapiro-Wilk):** Failed (P < 0,0500)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
jsloffen	200	28	2,4874	2,0932	3,2668
jwloffen	200	36	4,2115	3,0777	5,1670
jwsoffen	200	16	1,5779	1,3293	1,8537

Chi-square= 301,4883 with 2 degrees of freedom. (P = <0,0001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,0001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P	P<0,050
------------	---------------	---	---	---------

jwloffen vs jwsoffen	310,5000	24,4708	<0,0001	Yes
jwloffen vs jsloffen	168,0000	13,2403	<0,0001	Yes
jsloffen vs jwsoffen	142,5000	11,2306	<0,0001	Yes

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.

## **Danksagung**

Mein herzlicher Dank geht allen voran an Herrn PD Dr. habil. med. Dipl.-Ing. Thomas Steffens, Leiter der Audiologie der HNO-Klinik am Universitätsklinikum Regensburg, für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung der Arbeit vom Anfang bis zum Ende. Sein überaus großes Wissen und seine Erfahrung haben mir die Erstellung dieser Arbeit überhaupt möglich gemacht. Weiter bedanke ich mich für die Möglichkeit der Nutzung der Audiologie-Räume und allen technischen Geräten für die Versuche und Erhebung der Daten.

Darüber hinaus möchte ich mich bei allen beteiligten Studienkollegen, Freunden, Bekannten und allen Probanden bedanken, die sich die Zeit genommen haben, bei meinen Untersuchungen als Versuchspersonen zur Verfügung zu stehen und mir so zu einem elementar wichtigen Teil der Arbeit verholfen haben.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Familie, vor allem bei meinen lieben Eltern bedanken, die mich die ganze Zeit hindurch stets unterstützt, ermutigt und bestärkt haben.