

# Förderpreis 2015

## Entwicklung und Evaluation einer adaptiven Skalierungsmethode zur Ermittlung der subjektiven Höranstrengung

### Masterarbeit

Verfasser: Melanie Krüger  
Betreuende  
Gutachterin: Prof. Dr. rer. nat. Inga Holube  
Zweiter Gutachter: Dr. Michael Schulte  
Datum der Abgabe: 17.08.2015

# **E UHA**

Europäische Union der  
Hörgeräteakustiker e.V.

Herausgeber: Europäische Union der Hörgeräteakustiker e.V.  
Neubrunnenstraße 3, 55116 Mainz, Deutschland  
Tel. +49 (0)6131 28 30-0  
Fax +49 (0)6131 28 30-30  
E-Mail: [info@euha.org](mailto:info@euha.org)  
Internet: [www.euha.org](http://www.euha.org)

Alle hier vorhandenen Daten, Texte und Grafiken sind urheberrechtlich geschützt. Eine Verwertung über den eigenen privaten Bereich hinaus ist grundsätzlich genehmigungspflichtig.

© EUHA 2015

## Kurzfassung

In unserer Kommunikationsgesellschaft ist das Verstehen der Mitmenschen ein wichtiger Bestandteil. Vor allem sollte der Prozess des Verstehens mit vorzugsweise wenig Anstrengung möglich sein. Jedoch berichten vor allem hörgeschädigte Menschen häufig, dass sie sich in geräuschvollen Hörsituationen vermehrt anstrengen müssen, um Sprache zu verstehen, was als ermüdend wahrgenommen wird. Diese Höranstrengung kann u. a. mittels Skalen und Fragebogen erfasst werden. Dabei werden die unterschiedlich anstrengenden Hörsituationen durch feste Signal-Rausch-Abstände (SNR) erzeugt, bei denen eine Bewertung der Höranstrengung durchgeführt werden sollte. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde eine adaptive Skalierungsmethode zur Ermittlung der subjektiven Höranstrengung entwickelt und evaluiert. Die adaptive Skalierungsmethode basiert auf der kategorialen Lautheitsskalierung von Brand und Hohmann (2002), wobei der Sprachdarbietungspegel in dB adaptiv, basierend auf einer vorherigen subjektiven Bewertung, variiert wird. Für die Evaluierung wurden insgesamt 30 junge normalhörende Versuchspersonen sowie 15 ältere schwerhörige Versuchspersonen eingeladen. Bei den Schwerhörigen handelte es sich um erfahrene Hörgeräteträger, die mit Hörgeräten versorgt waren. Für die Skalierung der Höranstrengung wurde eine 14-stufige Skala, beginnend mit „müheelos“ und endend mit „nur Störgeräusch“, verwendet. Als Hintergrundgeräusch wurde jeweils einer von vier Maskierern präsentiert. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, sich das Testmaterial anzuhören und anschließend ihre wahrgenommene Höranstrengung mit Hilfe der Skala zu bewerten. Zusätzlich zu den Höranstrengungsmessungen wurden Sprachverständlichkeitsmessungen im Störgeräusch durchgeführt. Die Evaluation der adaptiven Höranstrengungsskalierung zeigte, dass Unterschiede bei der wahrgenommenen Höranstrengung zwischen den Maskierern erfasst werden konnten, vor allem in dem Bereich, in dem Sprachverständlichkeitstests an ihre Grenze stoßen. Mit besser werdendem SNR sinkt die wahrgenommene Höranstrengung weiter, wohingegen das Sprachverstehen unveränderlich bei 100 % bleibt. Dieses Ergebnis konnte sowohl für die jungen Normalhörenden als auch für die älteren Schwerhörigen beobachtet werden. Die Evaluation zeigte, dass die adaptive Höranstrengungsskalierung durch die individuelle Wählbarkeit des Testmaterials und der Maskierer vielseitig einsetzbar ist. Die Messungen sind schnell und leicht durchzuführen und sowohl für Laborstudien als auch in Hörgeräteanpassungen verwendbar.

**Schlagwörter:** Höranstrengung, adaptive Skalierung, subjektive Bewertung

## Abstract

Among humans, comprehension is an important component of our communication-based society. Above all, the process of understanding, preferably with little effort, should be possible. However, nearly all hearing impaired people often report that they have to work hard to understand language in noisy environments, which is perceived as tiresome. This listening effort can be recorded using scales and questionnaires. By measuring hearing situations with different effort levels generated by fixed signal-to-noise ratios (SNR), a rating of listening effort may then be realised. In this study, an adaptive scaling method for determining subjective listening effort will be developed and evaluated. The adaptive scaling method is based on categorical loudness scaling by Brand and Hohmann (2002), where the speech presentation level in dB is adaptively changed based on previous subjective evaluation. For this evaluation, 30 young normal hearing subjects and 15 elderly hearing impaired subjects were invited. The hearing impaired subjects were experienced hearing aid wearers, who were fitted with hearing aids. A 14-point scale, beginning with "effortless" and ending with "only noise", was used for scaling listening effort. As background noise, one of four maskers was presented. The subjects' task consisted in listening to the test material and then rating their perceived listening effort using the scale. In addition to the listening effort measurements, speech intelligibility measurements in noise were performed. The evaluation of the adaptive listening effort scaling showed that it was possible to measure differences in the perceived listening effort between the maskers, especially in the SNR range where speech intelligibility tests reach their limits. With increasing SNR, the perceived listening effort continues to decrease, whereas speech intelligibility remains at 100%. This result was observed for the young normal hearing subjects as well as for the older hearing impaired subjects. The evaluation showed that adaptive listening effort scaling is versatile with regard to both different test material and different maskers. The measurements are quick and easy to perform and suitable for laboratory studies as well as hearing aid adjustments.

**Keywords:** listening effort, adaptive scaling, subjective rating

# Inhaltsverzeichnis

Impressum	i
Kurzfassung/Abstract	ii
Inhaltsverzeichnis	iv
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Theoretischer Hintergrund</b>	<b>3</b>
2.1 Messungen der Höranstrengung	3
2.1.1 Kognitive Messungen	4
2.1.2 Physiologische Messungen der Höranstrengung	6
2.1.3 Subjektive Bewertung der Höranstrengung	7
2.2 Messverfahren zur Erfassung subjektiver Bewertungen	12
2.2.1 Klassische Methoden: Paarvergleich und „MUSHRA“	12
2.2.2 Adaptives Messverfahren: N-Alternative-Forced-Choice-Methode	13
2.2.3 Adaptive kategoriale Lautheitsskalierung	13
<b>3. Pilotstudie I</b>	<b>15</b>
3.1 Einleitung	15
3.2 Methode	16
3.2.1 Apparatur	16
3.2.2 Versuchspersonen	16
3.2.3 Messablauf	17
3.2.4 Maskierer	17
3.2.5 Sprachverständlichkeitsmessung	18
3.2.6 Adaptive Höranstrengungsskalierung	18
3.3 Ergebnisse	20
3.3.1 Sprachverstehen	20
3.3.2 Höranstrengung	22
3.3.2.1 Vergleich der Skalen	24
3.3.2.2 Vergleich der Schrittweiten	27
3.3.2.3 Vergleich der Maskierer	28
3.3.2.4 Vergleich der Test- und Retest-Bedingung	28
3.4 Zusammenfassung und Diskussion	31
3.4.1 Sprachverstehen	31
3.4.2 Adaptive Höranstrengungsskalierung	31
3.4.2.1 Vergleich der Skalen	31
3.4.2.2 Vergleich der Schrittweite	31
3.4.2.3 Vergleich der Maskierer	32
3.4.2.4 Vergleich der Test- und Retest-Bedingung	32
<b>4. Pilotstudie II</b>	<b>33</b>
4.1 Einleitung	33
4.2 Methode	33
4.2.1 Apparatur	33

4.2.2	Versuchspersonen	34
4.2.3	Messablauf	34
4.2.4	Maskierer	34
4.2.5	Höranstrengungsmessungen	34
4.2.6	Statistische Analyse	35
4.3	Ergebnisse	35
4.3.1	Vergleich der Startpegel für die adaptive Höranstrengungsskalierung	35
4.3.2	Vergleich der Messmethoden „adaptiv“ und „statisch“	37
4.4	Zusammenfassung und Diskussion	40
4.4.1	Vergleich der Startpegel für die adaptive Höranstrengungsskalierung	40
4.4.2	Vergleich der Messmethoden „adaptiv“ und „statisch“	40
<b>5.</b>	<b>Hauptstudie</b>	<b>41</b>
5.1	Einleitung	41
5.2	Methode	42
5.2.1	Apparatur	42
5.2.2	Versuchspersonen	43
5.2.3	Maskierer	44
5.2.4	Messablauf	45
5.2.5	Höranstrengungsmessungen	47
5.2.6	Statistische Analyse	47
5.3	Ergebnisse	48
5.3.1	Sprachverstehen	48
5.3.2	Adaptive Höranstrengungsskalierung	52
5.3.2.1	Normalhörende	52
5.3.2.2	Schwerhörende	61
5.3.3	Höranstrengungsfragebogen	74
5.4	Diskussion	77
5.4.1	Sprachverstehen	77
5.4.2	Adaptive Höranstrengungsskalierung	78
5.4.2.1	Vergleich der Versuchspersonengruppen: Normal- und Schwerhörende	79
5.4.2.2	Vergleich der Hintergrundgeräusche	80
5.4.2.3	Vergleich der Messtermine und Test-Retest-Reliabilität	80
5.4.2.4	Vergleich der Höranstrengung und Sprachverständlichkeit	80
5.4.3	Höranstrengungsfragebogen	81
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>82</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang A: Instruktionen für Sprach- und Höranstrengungsmessungen</b>	<b>84</b>
7.1	Instruktion für die Höranstrengungsmessung	84
7.2	Instruktion für die Sprachverständlichkeitsmessung	86
<b>8.</b>	<b>Anhang B: Höranstrengungs-Fragebogen</b>	<b>87</b>
<b>9.</b>	<b>Anhang C: Ergebnisse der Pilotstudien</b>	<b>95</b>
9.1	Pilotstudie I: Tonaudiogramm	95
9.2	Pilotstudie I: Vergleich der Skalen	95

9.3	Pilotstudie I: Vergleich der Test-Retest-Bedingung	97
9.4	Pilotstudie I: Spontane Kommentare	98
9.5	Pilotstudie II: Vergleich adaptive und statische Methode	99
9.6	Ergebnisse der ANOVA: Olnoise	99
9.7	Ergebnisse der ANOVA: ISTS	101
9.8	Ergebnisse der ANOVA: Adaptives und statisches Messverfahren für das Olnoise	103
9.9	Ergebnisse der ANOVA: Adaptives und statisches Messverfahren für das ISTS	104
<b>10.</b>	<b>Anhang D: Ergebnisse der Hauptstudie</b>	<b>107</b>
10.1	Tonaudiogramm	107
10.2	Sprachverständlichkeitsmessungen bei festen SNR-Werten	107
10.3	Normalhörende: Vergleich der Hintergrundrauschen	109
10.4	Normalhörende: Test-Retest-Reliabilität	110
10.5	Normalhörende: Ergebnisse der ANOVA	119
10.6	Schwerhörende: Vergleich versorgt – unversorgt	122
10.7	Schwerhörende: Test-Retest-Reliabilität	123
10.8	Schwerhörende: Ergebnisse der ANOVA	126
<b>11.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>134</b>
<b>12.</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>135</b>
12.1	Abkürzungsverzeichnis	135
12.2	Abbildungsverzeichnis	136
12.3	Tabellenverzeichnis	141
12.4	Literaturverzeichnis	143

# 1. Einleitung

In der Kommunikation zwischen Menschen ist das Hören und Verstehen von Sprache ein wichtiger Bestandteil (Klink et al., 2012a, b). Sie dient dabei nicht nur der Verständigung, sondern ermöglicht auch soziale Kontakte. Viele Schwerhörige empfinden vor allem in geräuschvoller Umgebung das Verstehen von Sprache als anstrengend und ermüdend (Gosselin und Gagné, 2011; Hällgren et al., 2005). Neben der Sprachverständlichkeit in solchen Hörsituationen ist die wahrgenommene Höranstrengung ein weiteres Bewertungsmaß und dadurch von großem Interesse. Vor allem moderne Hörgeräte versuchen, den Schwerhörenden durch unterstützende Algorithmen das Sprachverstehen zu erleichtern und den Mehraufwand an Konzentration und Fokussierung zu verringern. Mit Hilfe von Sprachverständlichkeitstests können Unterschiede in der Sprachverständlichkeit erfasst werden, jedoch berichten Hörgeräteträger, dass die wahrgenommene Höranstrengung trotz eines Sprachverstehens von 100 % variiert. Dies konnte in diversen Studien durch die Erfassung von subjektiven Bewertungen mittels Skalen und Fragebogen bestätigt werden (u. a. Sato et al., 2005; Meis und Gabriel, 2001; Taesler und Holube, 2009; Holube, 2011; Zekveld et al., 2010; Larsby et al., 2005; Hällgren et al., 2005; Mackersie und Cones, 2011; Störmer, 2010; Haeder et al., 2014; Luts et al., 2010; Ortmann et al., 2013; Schulte et al., 2007; Schulte et al., 2009). Dabei wurden unterschiedlich schwere Hörsituationen durch die Vorgabe von festen Signal-Rausch-Abständen (SNRs) kreiert.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Entwicklung und Evaluation einer adaptiven Skalierungsmethode zur Ermittlung der subjektiven Höranstrengung. Dabei soll das Messverfahren mit Normal- und Schwerhörenden durchgeführt werden. Neben der Höranstrengung wird die Sprachverständlichkeit erfasst, wodurch der Zusammenhang zwischen Höranstrengung und Sprachverständlichkeit untersucht werden kann.

In Kapitel 2 wird der theoretische Hintergrund zum Thema „Entwicklung und Evaluation einer adaptiven Skalierungsmethode zur Ermittlung der subjektiven Höranstrengung“ erläutert. Dabei werden Verfahren zur Erfassung von Höranstrengung, bestehend aus kognitiven und physiologischen Messungen sowie subjektiven Bewertungen, beschrieben (Abschnitt 2.1). Abschnitt 2.2 befasst sich mit Messverfahren zur Erfassung subjektiver Bewertungen. Dazu zählen klassische (Paarvergleiche und „MUSHRA“) und adaptive Methoden. Als Beispiele werden die N-Alternative-Forced-Choice-Methode sowie die adaptive kategoriale Lautheitsskalierung vorgestellt.

Die adaptive Skalierungsmethode zur Ermittlung der subjektiven Höranstrengung basiert auf dem Verfahren der kategorialen Lautheitsskalierung. Im Vorfeld der Evaluationsmessungen zur Erfassung der Höranstrengung wird eine Pilotstudie durchgeführt, welche in Kapitel 3 genauer erläutert wird. Diese dient der Ermittlung einer geeigneten Bewertungsskala (Kapitel 3.3.2.1) und der Bestimmung einer sinnvollen Schrittweite (Kapitel 3.3.2.2), mit der der Sprachdarbietungspegel während der Messung verändert wird. Des Weiteren



wird das Sprachverstehen ermittelt (Kapitel 3.2.5), und die Ergebnisse sowie Schlussfolgerungen werden zusammengetragen.

In Kapitel 4 wird die zweite Pilotstudie, in der verschiedene Startpegel getestet wurden, beschrieben. Dabei werden sowohl die Methode (Kapitel 4.2) als auch die Ergebnisse (Kapitel 4.3.1) näher erläutert. Zusätzlich wird in der Pilotstudie II die adaptive und statische Messmethode miteinander verglichen. Die Erkenntnisse dazu sind in Kapitel 4.3.2 zusammengetragen.

Kapitel 5 befasst sich mit der Hauptstudie zur Evaluation der adaptiven Höranstrengungskalierung. Dabei sind, wie bereits in den Pilotstudien, die Methoden (Kapitel 5.2), die Ergebnisse für die Sprachverständlichkeitsmessungen (Kapitel 5.3.1) sowie für die Höranstrengung (Kapitel 5.3.2) zusammengetragen. Das Ende bildet die Zusammenfassung der vorliegenden Untersuchung sowie ein Ausblick in Kapitel 6.

## 2. Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Messungen der Höranstrengung

Das Thema Höranstrengung hat innerhalb der letzten Jahre viel Aufmerksamkeit erhalten. Viele hörgeschädigte Menschen berichten, dass für sie geräuschvolle Hörsituationen als ermüdend wahrgenommen werden (CHABA, 1988). Dabei beschreiben vor allem ältere und hörgeschädigte Personen, dass das Verstehen von Sprache in geräuschvoller Umgebung anstrengend ist (Pichora-Fuller und Singh, 2006) und mehr kognitive Ressourcen aufgewendet werden müssen, um in geräuschvoller Situation das gleiche Sprachverstehen wie in Ruhe zu erzielen. Zusätzlich kann die steigende Höranstrengung in akustisch anspruchsvollen Umgebungen das Gefühl von Stress und Erschöpfung begünstigen (Hétu et al., 1988) und sich über die Zeit erhöhen. Tatsächlich konnten Nachttegaal et al. (2009) bestätigen, dass schwerhörige Menschen mehr Zeit benötigen, um sich auszuruhen und zu erholen, da für sie das Hören mit harter Arbeit vergleichbar ist. Darüber hinaus erleben nicht nur Menschen mit einem starken Hörverlust eine ansteigende Höranstrengung, sondern auch Personen mit leichten Hörverlusten (Rabbitt, 1991; McCoy et al., 2005; Hicks und Tharpe, 2002). Obwohl das Interesse an dem Thema Höranstrengung gewachsen ist, konnte bis jetzt noch keine einheitliche Definition gefunden werden. In einigen Studien wird Höranstrengung als die Menge an kognitiven Ressourcen beschrieben, die benötigt wird, um Sprache wahrzunehmen (z. B. Hicks und Tharpe, 2002; Downs, 1982), insbesondere in komplexen Hörsituationen (Ortmann et al., 2013). Zusätzlich zu den verschiedenen Definitionen werden auch verschiedene Bezeichnungen verwendet. Begriffe wie „Leichtigkeit des Hörens“, „Höranstrengung“, „Hörschwierigkeit“ und viele mehr beschreiben meist dasselbe Thema (Schulte et al., 2008).

Von großem Interesse ist der Zusammenhang zwischen Höranstrengung und Sprachverstehen. In Studien wurde diesbezüglich festgestellt, dass die Sprachverständlichkeit mit besser werdendem Signal-Rausch-Abstand (SNR) stetig zu- und die Höranstrengung abnimmt (Sato et al., 2005; Feuerstein, 1992; Pichora-Fuller und Singh, 2006; Rennies et al., 2014). Die Ergebnisse der Höranstrengung und der Sprachverständlichkeit weisen einen gegenläufigen Verlauf auf (siehe Klink et al., 2012a, Abb. 1). Bei negativem SNR liegt die Höranstrengung im Bereich von „extrem anstrengend“ (engl.: extreme effort) und die Sprachverständlichkeit bei nahezu 0 %. Mit steigendem SNR verbessert sich die Sprachverständlichkeit, und die Höranstrengung sinkt. Sobald die Sprachverständlichkeit ihren maximalen Wert von 100 % erreicht hat, hat ein positiverer SNR dennoch einen Einfluss auf die wahrgenommene Höranstrengung, die weiter abnimmt. Der Beginn dieses Bereiches ist mit einer gestrichelten, vertikalen Linie markiert. Bei den dort dargestellten Kurven handelt es sich um einen theoretischen Verlauf. Die Steigung und der Kreuzungspunkt der beiden Kurven können individuell verschieden sein, insbesondere unterscheiden sie sich aber beim Vergleich von Normalhörenden und Schwerhörigen. Dabei

könnte sich diese Unterscheidung besonders in der Lage der Kurve in Bezug auf den SNR deutlich machen.

In einigen Studien wurde berichtet, dass durch Verwendung von Hörgeräten die wahrgenommene Höranstrengung reduziert wird (Downs, 1982; Gatehouse und Gordon, 1990; Hornsby, 2013; Picou et al., 2013), genauso wie durch spezielle Hörgerätealgorithmen (z. B. Störgeräuschreduktion) (Sarampalis et al., 2009; Hoi Ning Ng et al., 2013). Dieser Gewinn kann jedoch nicht mit allen Hörgerätekategorien nachgewiesen werden (Hornsby, 2013). Die gemessenen Resultate hängen stark vom Studiendesign sowie von den zu testenden Hörgerätefeatures und dem individuellen Antwortverhalten der Versuchspersonen ab. Deshalb ist ein zuverlässiges und allgemeingültiges Messwerkzeug erforderlich, welches sensitiv die Höranstrengung erfasst und zur Evaluierung von Hörgerätekategorien verwendet werden kann.

In den Kapiteln 2.1.1 bis 2.1.3 werden die verschiedenen Messtechniken zur Erfassung der Höranstrengung erläutert. Diese Methoden sind unterteilt in kognitive Messungen (Einzel- und Doppelaufgaben-Paradigmen [„Single-Task“- bzw. „Dual-Task“-Paradigma]), physiologische Messungen (u. a. Elektroenzephalographie [EEG], Pupillometrie, Hautleitfähigkeit) und subjektive Tests (u. a. Fragebogen, Skalen).

### 2.1.1 Kognitive Messungen

Eine Möglichkeit zur Erfassung von Höranstrengung ist die Verwendung von Single- und Dual-Task-Paradigmen. Im Folgenden werden Erkenntnisse aus vorherigen Studien in Bezug auf Dual-Task-Paradigmen, Primär- und Sekundäraufgaben, Alter, Normal- und Schwerhörigkeit, Hintergrundgeräusche, SNR-Veränderungen und Hörgeräteverwendung näher erläutert.

#### Dual-Task-Paradigmen

Die gängige Methode zur Erfassung der empfundenen Höranstrengung ist das Dual-Task-Paradigma (Broadbent, 1958). Das Konzept dieses Paradigmas basiert auf der Kapazitätstheorie von Kahneman (1973). Diese Theorie besagt, dass die Kapazität eines menschlichen Gehirns in Bezug auf die mentale Aktivität begrenzt ist. Jedoch kann die vorhandene Kapazität zwischen verschiedenen mentalen Aktivitäten aufgeteilt werden. Die erbrachte Leistung während der simultanen Ausführung von Aufgaben hängt dabei davon ab, wie viel Kapazität für die jeweilige Aufgabe verwendet wird. Zum Beispiel kann es bei einer gleichzeitigen Durchführung von zwei Aufgaben sein, dass die erbrachte Leistung für beide Aufgaben oder auch nur für eine der beiden Aufgaben sinkt. Grund dafür ist, dass nicht genug Kapazität zur Verfügung steht, um beide Aufgaben (Primär- und Sekundäraufgabe) auf höchstem Niveau auszuführen. Der Leistungsabfall innerhalb der Sekundäraufgabe wird oftmals als Anzeichen für eine ansteigende kognitive Anstrengung in der Primäraufgabe interpretiert (Downs und Crum, 1978; Rabbitt, 1968).

## Primär- und Sekundäraufgabe

Für die Erforschung von Höranstrengung werden häufig Dual-Tasks kreiert, deren Primäraufgabe aus Spracherkennung besteht. Diese bestehen u. a. aus Satztests (Anderson Gosselin und Gagné, 2011; Tun et al., 2009; Sarampalis et al., 2009; Feuerstein, 1992), Einsilbertests (Picou et al., 2013; Picou und Ricketts, 2014) oder Spracherkennungsaufgaben (Fraser et al., 2010; Broadbent, 1958; Downs und Crum, 1978; Hicks und Tharpe, 2002). Die Sekundäraufgaben beinhalten häufig taktile Erkennungs- (Anderson Gosselin und Gagné, 2011) oder visuelle Aufgaben (Tun et al., 2009; Sarampalis et al., 2009; Picou et al., 2013).

In vielen Studien wird die Höranstrengung mit Reaktionszeitmessungen als Indikator gemessen. Dabei besteht die Sekundäraufgabe aus einer Reaktion auf einen weiteren Stimulus (e.g. Downs, 1982; Hicks und Tharpe, 2002; Sarampalis et al., 2009; Fraser et al., 2010; Anderson Gosselin und Gagné, 2011; Feuerstein, 1992; Downs und Crums, 1978). Längere Reaktionszeiten wurden als Indikator für eine höhere Höranstrengung gewertet. Dies wird damit begründet, dass sich die vorhandenen Ressourcen während der gleichzeitigen Durchführung von zwei Aufgaben aufteilen. Sobald die Testsituation an Schwierigkeit zunimmt, sind nicht genug Ressourcen vorhanden, um beide Aufgaben auf gleich hohem Niveau zu absolvieren. Picou und Ricketts (2014) untersuchten den Effekt der ansteigenden Komplexität der Sekundäraufgabe. Die Primäraufgabe bestand aus dem Einsilbersprachverstehen, und die Sekundäraufgabe wurde variiert. Aufgrund der gleichbleibenden Resultate bei der Spracherkennung, wurde darauf geschlossen, dass die Komplexität der Sekundäraufgabe keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Primäraufgabe hat.

## Alter

Das Alter der Versuchspersonen ist ein wichtiger Faktor bei der Untersuchung von Höranstrengung. Einige Studien zeigten, dass ältere Probanden in der Verarbeitung von Sprache vor allem in akustisch schwierigen Situationen langsamer sind (Tun et al., 2009; CHABA, 1988). Dies spiegelt sich auch in einer höheren Höranstrengung wider (Anderson Gosselin und Gagné, 2011; Larsby et al., 2005; Zekveld et al., 2011). Des Weiteren erzielten ältere Probanden schlechtere Ergebnisse in den Primär- oder Sekundäraufgaben (Tun et al., 2009) und Reaktionsaufgaben (Zekveld et al., 2011; Anderson Gosseling und Gagné, 2011). Larsby et al. (2005) ermittelten zusätzlich, dass ältere Probanden im Vergleich zu jüngeren vermehrt durch Hintergrundgeräusche abgelenkt werden. Zusätzlich können altersbedingte Gedächtnisdefizite die wahrgenommene Höranstrengung erhöhen (Tun et al., 2009).

## Normal- und Schwerhörnde

Zusätzlich zum Alter hat das Hörvermögen Einfluss auf die wahrgenommene Höranstrengung. Es konnte bestätigt werden, dass ältere Schwerhörige längere Reaktionszeiten aufweisen als jüngere Normalhörende, aber auch als junge Schwerhörige (Tun et al., 2009; Larsby et al., 2005).

## Hintergrundgeräusche

Die wahrgenommene Höranstrengung steigt mit der Anwesenheit von Hintergrundgeräuschen (Picou et al., 2013; Larsby et al., 2005) und wird bei verschiedenen Hintergrundgeräuschen unterschiedlich wahrgenommen (Taesler und Holube, 2009; Larsby et al., 2005; Störmer, 2013). Ebenfalls unterscheidet sich die Höranstrengung innerhalb stationärer Hintergrundgeräusche (Schulte et al., 2008). Des Weiteren hat Nachhall einen Einfluss auf die Höranstrengung, wobei diese mit steigender Nachhallzeit zunimmt (Rennies et al., 2014; Holube et al., 2014).

## Signal-Rausch-Abstand

Ebenso wie die Hintergrundgeräusche hat auch die Veränderung des SNRs einen Einfluss auf die Höranstrengung. Dabei verringert sich diese mit besser werdendem SNR (Taesler und Holube, 2009; Sarampalis et al., 2009; Zekveld et al., 2011; Rennies et al., 2014). Houben et al. (2013) konnten dies u. a. an einer sinkenden Reaktionszeit belegen.

## Hörgeräteverwendung

Die Versorgung mit Hörgeräten hat oftmals einen positiven Einfluss auf die wahrgenommene Höranstrengung (Picou et al., 2013; Hornsby, 2012; Hällgren et al., 2005). Zudem reduziert sich die Reaktionszeit der Versuchspersonen (Gatehouse und Gordon, 1990) durch die Hörgerätenutzung, und die Verwendung von Störgeräuschalgorithmen zeigte ebenfalls einen Nutzen (u. a. Sarampalis et al., 2009; Schulte et al., 2009). Jedoch konnte kein genereller Gewinn gefunden werden. Huckvale und Leak (2009) und Hornsby (2013) konnten keine Verringerung der Reaktionszeiten durch Hörgeräte bzw. -algorithmen beobachten.

### 2.1.2 Physiologische Messungen der Höranstrengung

Neben den Single- und Dual-Task-Paradigmen wurden physiologische Reaktionen zur Erfassung von Höranstrengung verwendet (Kramer et al., 1997; Mackersie und Cones, 2011; Zekveld et al., 2010; Zekveld et al., 2011; Ortmann et al., 2013; Haeder et al., 2015). Die gängigsten sind: Herzfrequenz, Hautleitwert, Hauttemperatur, elektromyografische Aktivität (EMG) und Pupillometrie. Physiologische Reaktionen sind für die Messung der Höranstrengung interessant, da diese auf unwillkürlichen Reaktionen des menschlichen Körpers basieren. Die physiologischen Reaktionen, wie die Pupillenerweiterung oder die Erhöhung der Herzfrequenz, werden durch das vegetative Nervensystem reguliert. Der aktivierende Teil des vegetativen Nervensystems ist das sympathische Nervensystem, welches die „fight or flight“-Reaktion (dt.: Kampf oder Flucht) aktiviert. Die Herzfrequenz und der Puls steigen an, die Aufmerksamkeit erhöht sich, und die Muskeln sind angespannt. Darüber hinaus werden die Schweißdrüsen stimuliert und verursachen u. a. feuchte Hände. Die Erweiterung der Pupillen wird ebenfalls durch das sympathische Nervensystem reguliert. Der Ziliarmuskel der Linse ist entspannt, und dies ermöglicht, dass mehr

Licht in das Auge eintreten kann und die Fernsicht verbessert wird. Diese unwillkürlichen Reaktionen des menschlichen Körpers auf Stresssituationen werden dazu verwendet, Höranstrengung zu messen (Schmidt et al., 2010).

### **Elektrodermale Aktivität (EDA)**

Unter dem Begriff elektrodermale Aktivität wird der Hautleitwert verstanden. Durch die vermehrte Schweißproduktion sinkt der elektrische Leitungswiderstand und spiegelt sich in einer Zunahme der Hautleitfähigkeit wider. Die EDA kann als Indikator zur Erfassung von Höranstrengung verwendet werden, wobei diese mit schlechter werdendem SNR ansteigt (Ortmann et al., 2013; Haeder et al., 2015). Haeder et al. (2015) beobachteten außerdem, dass die Effekte in der EDA bei älteren schwerhörenden Versuchspersonen weniger stark ausgeprägt waren.

### **Herzfrequenz, Hauttemperatur und elektromyografische Aktivität**

Mackersie und Cones (2011) untersuchten die Herzfrequenz, Hauttemperatur und elektromyografische Aktivität (EMG) als mögliche Indikatoren für Höranstrengung. Die Elektromyografie misst die elektrische Muskelaktivität. Innerhalb der Studie wurde herausgefunden, dass die Messwerte mit steigendem Aufgabenaufwand zunahmten. Jedoch ergaben sich nur für die Hauttemperatur und die elektromyografische Aktivität signifikante Ergebnisse. Mackersie und Cones (2011) schlossen daraus, dass diese beiden Parameter am sensitivsten sind, um Höranstrengung auf Basis von Veränderungen im Aufgabenaufwand festzustellen.

### **Pupillometrie**

Die Pupillometrie besteht aus der Messung der Pupillenerweiterung. Der Effekt der erweiterten Pupille kann als Indikator für Höranstrengung gewertet werden. Bei schlechter werdendem SNR ist die Pupille größer als bei besseren SNR-Werten (Kramer et al., 1997; Zekveld et al., 2010; Zekveld et al., 2011). Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass dieser Effekt bei schwerhörenden Versuchspersonen kleiner ist als bei Normalhörenden (Kramer et al., 1997; Zekveld et al., 2010; Zekveld et al., 2011). Piquado et al. (2010) schlussfolgerten, dass der Anstieg der erforderlichen Verarbeitungsressourcen in einer Vergrößerung der Pupille resultiert. Dieser Effekt konnte aber nicht bei jeder Studie eindeutig mit einer Beziehung zum SNR in Verbindung gebracht werden (Schulte et al., 2011).

#### **2.1.3 Subjektive Bewertung der Höranstrengung**

Die Höranstrengung kann nicht nur mit objektiven Messmethoden (kognitive und physiologische Messungen) ermittelt werden, sondern auch über subjektive Methoden. Dies beinhaltet die aktive und individuelle Bewertung des Wahrgenommenen. Bei der Erfassung subjektiver Eindrücke kommen hauptsächlich Fragebogen und Skalen zum Einsatz.

Einer der bekanntesten Fragebogen ist die „Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ)“ von Gatehouse und Nobel (2004). Dabei handelt es sich um einen standardisierten und validierten Fragebogen (Singh und Pichora-Fuller, 2010), der die Bereiche Sprachverständnis, räumliches Hören und Hörqualität beinhaltet. Auch das Thema Höranstrengung wird in drei Fragen angeschnitten (z. B. „Müssen Sie sich stark anstrengen, um zu verstehen, was in einem Gespräch mit anderen gesagt wird?“, Gatehouse und Nobel, 2004). Die Versuchspersonen haben die Möglichkeit, die wahrgenommene Höranstrengung auf einer Skala von 0 „stark anstrengend“ bis 10 „nicht stark anstrengend“ mit Zwischenschritten zu bewerten. Des Weiteren stehen die Antwortmöglichkeiten „würde es nicht hören“ bzw. „weiß nicht“ und „nicht anwendbar“ zur Verfügung. Auf Basis dieses Fragebogens wurde der „Höranstrengung – Fragebogen, International“ (engl.: Listening Effort Questionnaire) von Schulte et al. (2015) entwickelt. Dieser besteht aus 17 Fragen und fragt die Höranstrengung in verschiedenen akustischen Situationen (u. a. Ruhe, Nachhall, Sichtkontakt) ab. Als Antwortmöglichkeiten stehen die Zahlenwerte 0 „nicht anstrengend“ bis 10 „extrem anstrengend“ zur Verfügung. Eine weitere Möglichkeit bietet der „NASA Task Load Index“ (NASA-TLX) von Hart und Staveland (1988). Dieser beinhaltet sechs Fragen zu mentalen, physikalischen und zeitlichen Anforderungen sowie zur Leistung, Anstrengung und Frustration bezogen auf eine zu bewertende Aufgabe. Dafür steht eine Skala mit 20 Bewertungsstrichen zur Verfügung, wobei der erste Strich „sehr gering“ und der zwanzigste Strich „sehr hoch“ verdeutlicht.

Hornsby (2013) verwendete drei Fragen aus dem SSQ-Fragebogen und modifizierte diese. Eine der drei Fragen lautet im Original „Do you have to put in a lot of effort to hear what is being said in conversation with others?“ und in der modifizierten Variante „Did you have to put in a lot of effort to hear what was being said in conversation with others *today*?“. Des Weiteren veränderte Hornsby (2013) die Bewertungsskala. Im Gegensatz zum Original repräsentiert 0 „keine oder minimale Anstrengung“ und die Zahl 10 „maximale Anstrengung“. Ein weiterer Fragebogen wurde von Meis und Gabriel (2001) entwickelt. Dieser beinhaltet offene Fragen (z. B. „In welchen Situationen ist für Sie das Hören von Geräuschen und Verstehen von Sprache besonders anstrengend? Bitte nennen Sie Situationen, die Ihnen spontan in den Sinn kommen!“) und 15 geschlossene Fragen. Für die Bewertung der geschlossenen Fragen wurde eine 7-stufige Skalierung verwendet (siehe Tabelle 2-1: Überblick über verschiedene Skalen zur Erfassung von Höranstrengung). Der Aufbau der verwendeten Skalen kann in den Studien individuell gewählt werden und unterscheidet sich überwiegend in der Anzahl der Kategorien und den Bezeichnungen der Bewertungskategorien. Die Tabelle 2-1, Überblick über verschiedene Skalen zur Erfassung von Höranstrengung, enthält einen Überblick über Skalen, die in diversen Studien eingesetzt wurden.



Skala	Kategorien	Versuchspersonen	Parameter	Publikation
4er	„keine“ (not), „etwas“ (slightly), „moderat“ (moderately), „sehr“ (very)	NH	Feste SNR-Werte Verschiedene akustische Situationen (Direktschall, Nachhall, frühe Reflexionen)	Sato et al. (2005); Morimoto et al. (2004)
7er	0 „nicht“, 1 „sehr wenig“, 2 „wenig“, 3 „mittelgradig“, 4 „deutlich“, 5 „sehr“, 6 „extrem anstrengend“	SH	Verschiedene Hörsituationen	Meis und Gabriel (2001)
		NH SH	Verschiedene Störgeräusche Feste SNR-Werte (SRT, +3 dB, +6 dB, +9 dB, +12 dB)	Taesler und Holube (2009)
		NH SH	Verschiedene Störgeräusche Feste SNR-Werte (SRT, +3 dB, +6 dB, +9 dB, +12 dB)	Holube (2011)
9er	1 „keine Anstrengung“ (no effort), 3 „geringe Anstrengung“ (low effort), 5 „moderate Anstrengung“ (moderate effort), 7 „hohe Anstrengung“ (high effort), 9 „sehr hohe Anstrengung“ (very high effort)	NH	Stationäres Störgeräusch  Feste SNR-Werte (SRT <sub>50%</sub> , SRT <sub>71%</sub> , SRT <sub>84%</sub> )	Zekveld et al. (2010)
Borg CR-10 (Borg, 1990)	0 „keine Anstrengung“ (none at all) bis 10 „extreme Anstrengung“ (extremely great)	NH SH	Verschiedene Störgeräusche Schwierigkeit der Aufgabe	Larsby et al. (2005)
		SH	Verschiedene Störgeräusche	Hällgren et al. (2005)
11er	0 „keine Anstrengung“ (no effort) bis 10 „sehr hohe Anstrengung“ (very high effort)	NH SH	Stationäres Störgeräusch Feste SNR-Werte (SRT <sub>50%</sub> , SRT <sub>71%</sub> , SRT <sub>84%</sub> )	Zekveld et al. (2011)
11er	0 „sehr gering“ (very low) bis 10 „sehr hoch“ (very high)	NH	Schwierigkeit der Aufgabe	Mackersie und Cones (2011)
	0 „keine Anstrengung“ (no effort) bis 10 „sehr viel Anstrengung“ (lots of effort)	NH	Schwierigkeit der Aufgabe (audio, audio-visuell Modalität)	Picou et al. (2011)



13er	1 „mühelos“, 3 „sehr wenig anstrengend“, 5 „wenig anstrengend“, 7 „mittelgradig anstrengend“, 9 „deutlich anstrengend“, 11 „sehr anstrengend“, 13 „extrem anstrengend“  Mit Zwischenkategorien	NH	Verschiedene Störgeräusche Feste SNR-Werte (-6 dB, -3 dB, 0 dB, +3 dB)	Störmer (2010)
		SH	Verschiedene STI-Werte	Haeder et al. (2014)
		NH SH	Feste SNR-Werte (-10 dB, -5 dB, 0 dB, +5 dB, +10 dB)	Schulte et al. (2009)
		NH	Feste SNR-Werte (-9 dB, -6 dB, -3 dB, 0 dB, +3 dB, +6 dB)	Schulte et al. (2011)
	0 „nicht“, 2 „sehr wenig“, 4 „wenig“, 6 „mittelgradig“, 8 „deutlich“, 10 „sehr“, 12 „extrem“  Zwischenkategorien	NH SH	Feste SNR-Werte (-10 dB, -5 dB, 0 dB, +5 dB, +10 dB)	Luts et al. (2010)
		NH	Feste SNR-Werte (Ruhe, 0 dB, -5 dB, -10 dB)	Ortmann et al. (2013)
60er	„extreme Anstrengung“ (extremely effortful) bis „mühelos“ (effortless)	NH SH	Verschiedene Störgeräusche Elf feste SNR-Werte	Schulte et al. (2007)
100er	0 % „keine Anstrengung“ (no effort) bis 100 % „sehr anstrengend“ (very effortful)	NH	Schwierigkeit der Aufgabe (audio, audio-visuell Modalität)	Fraser et al. (2010)
	0 „sehr, sehr schwierig“ (very, very difficult) bis 100 „sehr, sehr leicht“ (very, very easy)	NH	Binaural, monaural-nahe, monaural-entfernt	Feuerstein (1992)
Visuelle Skala	Visuell-analoge Skala (10-cm) von „minimale Anstrengung“ (minimal effort) bis „maximale Anstrengung“ (maximum effort) Anstrengung wird aufgrund des Abstandes zum linken Ende (Basis) ermittelt.	SH	Ohne Störgeräusch Junge und alte Sprecher	McAuliffe et al. (2012)

Tabelle 2-1: Überblick über verschiedene Skalen zur Erfassung von Höranstrengung. Für jede Skala werden die Informationen bezüglich der Anzahl der Bewertungskategorien (1. Spalte), die Bezeichnung der Kategorien (2. Spalte), getestete Versuchspersonengruppe (3. Spalte, Normalhörende (NH) und Schwerhörige (SH)), die getesteten Parameter (4. Spalte) und die Publikationen (5. Spalte) angegeben.

## Alter

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 vorgestellt, hat das Alter der Versuchspersonen einen Einfluss auf die wahrgenommene Höranstrengung. Larsby et al. (2005) wählten für ihre Studie junge und ältere normal- und schwerhörende Versuchspersonen. Sie konnten signifikante Unterschiede zwischen dem Hörvermögen (Normal- und Schwerhörende) und den verwendeten Hintergrundgeräuschen (ICRA, Hagerman-Rauschen, Sprache und Ruhe) ermitteln, jedoch keinen Effekt des Alters. Die Versuchspersonen wiesen ähnliche Bewertungen der wahrgenommenen Höranstrengung auf. Diese Erkenntnis bestätigten Hällgren et al. (2005) bei Verwendung der akustischen Testmodalität. Interessanterweise bewerteten ältere Schwerhörige Situationen, in denen Sätze von älteren Sprechern gesprochen wurden, als anstrengender als solche, in denen Sätze von jungen Sprechern aufgezeichnet wurden (McAuliffe et al., 2012).

## Normal- und Schwerhörende

In vielen Studien werden Normal- und Schwerhörende als Versuchspersonen ausgewählt. Beide Versuchspersonengruppen sind in der Lage, die subjektiv wahrgenommene Höranstrengung mittels Skalen zu bewerten (u. a. Schulte et al., 2009; Luts et al., 2010; Larsby et al., 2005). Die schwerhörigen Versuchspersonen bewerteten dieselben Hörsituationen im Vergleich zu den Normalhörenden als anstrengender. Es konnten jedoch nicht in jeder Untersuchung signifikante Unterschiede zwischen den Normal- und Schwerhörenden gefunden werden (Zekveld et al., 2011).

## Hintergrundgeräusche

Neben dem Alter und dem Hörvermögen wurde auch der Einfluss von Hintergrundgeräuschen auf die wahrgenommene Höranstrengung untersucht. Viele Studien bestätigten, dass sich die Höranstrengung für verschiedene Hintergrundgeräusche unterscheidet (Taesler und Holube, 2009; Schulte et al., 2007; Störmer, 2013; Larsby et al., 2005; Hällgren et al., 2005). Es konnte festgehalten werden, dass fluktuierende Maskierer, welche spektral der Sprache angenähert sind, eine höhere Höranstrengung verursachen als stationäre Maskierer (Larsby et al., 2005; Hällgren et al., 2005). Aber auch stationäre Maskierer im Vergleich zueinander werden unterschiedlich wahrgenommen. Schulte et al. (2007) verglichen die wahrgenommene Höranstrengung für den spezifischen Maskierer des Oldenburger Satztests (OLSA, Wagener et al., 1999a, 1999b, 1999c) und für einen Cafeteria-Maskierer. Als Ergebnis konnte beobachtet werden, dass der Cafeteria-Maskierer im Vergleich als anstrengender bewertet wurde. Neben den Hintergrundgeräuschen hat auch Nachhall einen Einfluss auf die Höranstrengung. Diese erhöht sich mit steigender Nachhallzeit (Sato et al., 2005; Rennies et al., 2014; Haeder et al., 2014; Holube et al., 2014).

## Signal-Rausch-Abstand

Der SNR hat einen ausschlaggebenden Effekt auf die wahrgenommene Höranstrengung. Akustisch schwierige Hörsituationen, d. h. geringe SNR-Werte, spiegeln sich in einer höheren Höranstrengung wider (Taesler und Holube, 2009; Holube, 2011; Zekveld et al., 2010; Zekveld et al., 2011; Störmer, 2010; Haeder et al., 2014; Schulte et al., 2011; Ortmann et al., 2013; Luts et al., 2010). Der Zusammenhang zwischen SNR und Höranstrengung wurde durch Schulte et al. (2009) auch grafisch verdeutlicht. In den Studien wurden feste SNR-Werte zur Bewertung vorgegeben (Sato et al., 2005; Morimoto et al., 2004; Taesler und Holube, 2009; Holube, 2011; Zekveld et al., 2010; Zekveld et al., 2011; Störmer, 2010; Haeder et al., 2014; Schulte et al., 2011; Schulte et al., 2009; Luts et al., 2010; Ortmann et al., 2013; Schulte et al., 2007). Dabei wurden die dargebotenen Pegel häufig basierend auf gemittelten SRT-Werten ausgewählt.

## Hörgeräteverwendung

Der positive Effekt einer Hörgeräteversorgung auf die wahrgenommene Höranstrengung konnte durch die Verwendung von Dual-Task-Paradigmen bereits belegt werden (u. a. Picou et al., 2013; Hornsby, 2012; Hällgren et al., 2005; Gatehouse und Gordon, 1990). Aber auch durch subjektive Bewertungen konnte diese Veränderung ermittelt werden (Schulte et al., 2008; Humes, 1999; Luts et al., 2010; Meis und Gabriel, 2011). Dabei wurde u. a. beschrieben, dass der Grad der Höranstrengung mit dem Hörverlust variiert, aber durch die Hörgeräteverwendung reduziert wird (Meis und Gabriel, 2011). Schulte et al. (2008) und Luts et al. (2010) konnten in ihren Studien zeigen, dass die Nutzung von einigen Störgeräusch-Algorithmen die wahrgenommene Höranstrengung reduziert.

## 2.2 Messverfahren zur Erfassung subjektiver Bewertungen

In der Psychoakustik werden Zusammenhänge zwischen der Empfindung von Schall und den dazugehörigen physikalischen Größen, u. a. Lautheit, Schärfe, Tonhaltigkeit, Rauigkeit, untersucht. Für die Erfassung der subjektiven Bewertungen stehen klassische Methoden (u. a. Konstant-Stimulus-Methode, Einregelungsmethode, Paarvergleiche) und adaptive Methoden (u. a. Forced-Choice-Methoden, Békésy-Tracking) zur Verfügung. Im Folgenden werden zwei klassische und zwei adaptive Messmethoden kurz vorgestellt.

### 2.2.1 Klassische Methoden: Paarvergleich und „MUSHRA“

#### Paarvergleich

Paarvergleiche sind ein beliebtes Messverfahren. Dabei handelt es sich um eine Vergleichsmethode, mit der z. B. Testsignale miteinander verglichen und Präferenzen ermittelt werden können. Den Versuchspersonen stehen bei diesem Messverfahren zwei Antwortmöglichkeiten zur Verfügung, und sie müssen eine davon auswählen (Forced-Choice-Methode). Die jeweilige Entscheidung ist dabei abhängig von der Frage-

stellung. Die Versuchspersonen können z. B. darum gebeten werden, das Signal auszuwählen, welches sie bevorzugen. Mit Hilfe dieser Messmethode können beliebig viele Testsignale miteinander verglichen werden.

### „MUSHRA“

Der „Multi-Stimulus Test with Hidden Reference and Anchor (MUSHRA)“ (A. Mason) ist ein Test zur vergleichenden Beurteilung. Den Versuchspersonen werden ein Referenzsignal sowie mehrere Vergleichssignale präsentiert. Die Aufgabe kann z. B. darin bestehen, die Lautstärke der Vergleichssignale so einzustellen, dass sie subjektiv der des Referenzsignals entspricht.

### 2.2.2 Adaptives Messverfahren: N-Alternative-Forced-Choice-Methode

Die Alternative-Forced-Choice-Methode (AFC) stellt eine der meistverwendeten Methoden in der Psychoakustik dar. Den Versuchspersonen werden N Testsignale präsentiert, und ihre Aufgabe besteht darin, z. B. das Testsignal zu entdecken, welches einen weiteren Teststimulus enthält. Bei dieser adaptiven Methode hängt der Darbietungspegel des nächsten Teststimulus von der vorherigen Antwort der Versuchsperson ab. Die Änderungsschrittweite ist dabei frei wählbar, z. B. 1-up-1-down, 1-up-2-down, 2-up-1-down. Dabei bedeutet z. B. 1-up-2-down, dass die Versuchspersonen zweimal den Teststimulus bei einem Pegel richtig entdeckt haben muss, bevor der Pegel verringert wird. Jedoch wird dieser nach einer falschen Antwort gleich wieder erhöht. Die Versuchspersonen werden in diesem Messverfahren zu einer Antwort gezwungen. Wenn der Teststimulus nicht detektiert werden konnte, muss demzufolge geraten werden. Ziel dieses Verfahrens ist, die Hör- bzw. Detektionsschwelle zu ermitteln.

An der Jade Hochschule in Oldenburg wurde am Institut für Hörtechnik und Audiologie ein Framework namens „Psylab“ erstellt, mit dem diverse Detektions- und Diskriminations-Experimente modelliert und durchgeführt werden können (Quelle: <http://www.hoertechnik-audiologie.de/psylab/#download-psylab>). Auch an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg wurde ein Messtool „AFC“ entwickelt (Ewert, 2013). Dies steht zur freien Verfügung und beinhaltet eine Vielzahl an Experimenten, u. a. die adaptive kategoriale Lautheitsskalierung.

### 2.2.3 Adaptive kategoriale Lautheitsskalierung

Die adaptive kategoriale Lautheitsskalierung ist eine psychoakustische Messmethode zur Erfassung der subjektiven Lautheitswahrnehmung. Die Methode findet Einsatz im Bereich der Diagnostik von Hörstörungen sowie in der Hörgeräteeinpassung. Dafür werden den Versuchspersonen Testsignale unterschiedlichen Pegels präsentiert. Die Aufgabe besteht darin, die subjektiv empfundene Lautheit des Testsignals auf einer Skala von „nicht gehört“ bis „zu laut“ zu bewerten. Als Testsignale stehen in der Oldenburger Messapparatur Schmalbandrauschen, aber auch breitbandige Signale zur Verfügung.

Die adaptive kategoriale Lautheitsskalierung nach Brand und Hohmann (2002) ist in zwei Testphasen unterteilt. Der erste Teil besteht aus der Ermittlung der Grenzen des individuellen SNR-Bereichs. Zu diesem Zweck startet die adaptive Skalierung bei einem Pegel von 80 dB SPL. Bewerten die Versuchspersonen den Startpegel direkt am Anfang mit den Skalengrenzen „zu laut“ oder „nicht gehört“, reduziert bzw. erhöht sich der Sprachdarbietungspegel um 15 dB SPL. Die Veränderung mit dieser Schrittweite findet nur so lange statt, bis eine andere Kategorie als die obere oder untere Bewertungsgrenze verwendet wird. Damit wird sichergestellt, dass der Startdarbietungspegel nicht zu hoch oder zu niedrig gewählt wird. Anschließend beginnt die eigentliche Bestimmung der Sprachdarbietungspegel für die Grenzen „zu laut“ und „nicht gehört“. Dies geschieht durch abwechselnde Reduzierung und Erhöhung des Sprachdarbietungspegels. Die Schrittweite beträgt 10 dB für die Bestimmung der Grenze „zu laut“. Für die Bestimmung der unteren Grenze („nicht gehört“) wird der Sprachdarbietungspegel so lange um 15 dB SPL reduziert, bis die Bewertung „nicht gehört“ ( $L_0$ ) abgegeben wird oder der minimale Pegel von 0 dB erreicht wurde. Die obere Begrenzung ergibt sich durch das Verwenden der Bewertung „zu laut“ oder durch das Erreichen des maximalen Pegels von 115 dB.

Die zweite Testphase besteht aus drei Sequenzen, in denen Darbietungspegel innerhalb der ermittelten Grenzen ( $L_5$  und  $L_{50}$ ) präsentiert werden. Zu diesem Zweck wird eine lineare Interpolation verwendet, wobei die Werte auf ganze Zahlen gerundet werden. Für die erste Sequenz werden fünf Darbietungspegel ermittelt, die annähernd die Bewertungskategorien „leise“ ( $L_{15}$ ), „mittel“ ( $L_{25}$ ), „laut“ ( $L_{35}$ ) und „sehr laut“ ( $L_{45}$ ) widerspiegeln sollen. Die Pegel werden in einer pseudorandomisierten Reihenfolge präsentiert. Pseudorandomisiert bedeutet, dass die Reihenfolge zufällig erscheint, aber statistisch berechenbar ist.

Im Anschluss an die dargebotenen Pegel werden für die zweite Messesequenz die Grenzen  $L_5$  und  $L_{50}$  neu berechnet. Dadurch wird die Messgenauigkeit erhöht. Für die Berechnung der neuen Grenzen wird eine lineare Funktion an alle bisherigen Bewertungen mit Hilfe einer modifizierten „Methode der kleinsten Quadrate“-Funktion (engl.: least squares fit) angepasst. Die neu ermittelten Werte für die Steigung ( $m$ ) und den Achsenabschnitt ( $b$ ) der Geradengleichung ( $y = m \cdot x + b$ ) dienen der Berechnung der Darbietungspegel für  $L_5$ ,  $L_{15}$ ,  $L_{25}$ ,  $L_{35}$  und  $L_{45}$ . Selbiges wird für die dritte Sequenz wiederholt. Die Anzahl der Sequenzen kann zur Erhöhung der Messgenauigkeit beliebig erhöht werden. Als Schutz vor zu lauten Pegeln dient zum einen der maximale Pegel, zum anderen der Pegel, der mit „zu laut“ bewertet wurde. Dieser Pegel kann um maximal 5 dB überschritten werden.

## 3. Pilotstudie I

### 3.1 Einleitung

Als Vorlage für die adaptive Höranstrengungsskalierung gilt die adaptive kategoriale Lautheitsskalierung (engl.: **A**daptive **C**ategorical **L**oudness **S**caling, ACALOS) von Brand und Hohmann (2002). Dabei unterscheiden sich die Skalierungsmethoden jedoch in einigen wichtigen Komponenten. Zum einen muss eine optimale Skala zur Bewertung der Höranstrengung gewählt werden. In Kapitel 2.1.3 wurden bereits verschiedene Skalen vorgestellt, jedoch gibt es keine Erfahrungen bezüglich des Einsatzes in adaptiven Skalierungsmethoden. Da die 13-stufige Skala von Schulte et al. (2009) bereits in mehreren Studien Verwendung gefunden und sich als sensitiv erwiesen hat (Störmer, 2010; Haeder et al., 2014; Schulte et al., 2011; Schulte et al., 2009; Luts et al., 2010; Ortman et al., 2013), wurde diese Skala auch für die adaptive Höranstrengungsskalierung ausgewählt. Während der Skalierung kann es vorkommen, dass die Maskierungsschwelle erreicht wird, d. h. das Testmaterial vollständig durch den Maskierer verdeckt wird. Aus diesem Grund wurde innerhalb der Pilotstudie eine weitere Skala getestet. Die verwendete 13-stufige Skala wurde um die Bewertungskategorie „nur Störgeräusch“ erweitert. Diese Erweiterung könnte für die Bewertung von Hörsituationen, in denen das Testmaterial verdeckt wird, hilfreich sein.

Ein weiterer Bestandteil der Pilotstudie I war die Überprüfung der optimalen Schrittweite für die adaptive Pegelberechnung. Dies ist besonders wichtig, um eine hohe Messgenauigkeit mit möglichst minimalem Aufwand zu erzielen. Dabei hängt die Schrittweite von dem Ziel der Messungen ab. Für den Hörtest per Telefon wurde für die Ermittlung der Sprachverständlichkeitsschwelle im Störgeräusch eine Schrittweite von 2 dB gewählt (Busschermöhle et al., 2009). Innerhalb der Lautheitsskalierung wurde eine asymmetrische Schrittweite (+10 dB, -15 dB) verwendet (Brand und Hohmann, 2002). Mit dieser Schrittweite konnten innerhalb des großen Dynamikbereichs von 0 bis 115 dB in wenigen Messschritten die Grenzen „unhörbar“ und „zu laut“ gefunden werden. Durch eine geringe Schrittweite in Richtung „zu laut“ ermöglicht dies zusätzlich eine langsame Annäherung an laute Pegel. Für die Höranstrengungsskalierung sind die Pegel auf 40 dB (Minimum) und 95 dB (Maximum) begrenzt. Dadurch besteht für die Versuchsperson keine Gefahr, dass unangenehm laute Pegel präsentiert werden. Des Weiteren wird der minimale Darbietungspegel nicht, wie bei der Lautheitsskalierung, durch die Hörschwelle, sondern durch einen schlechten SNR begrenzt. Bei adaptiven Experimenten wird die Schrittweite basierend auf der Fragestellung gewählt. Für die adaptive Hörschwellenmessung wurde u. a. eine Schrittweite von 10 dB für die ersten Pegeldarbietungen gewählt, wobei diese anschließend auf 5 dB reduziert wurde (Kaernbach, 2004). Bei Experimenten zur Erfassung von Tonzuschlägen wurde bei dem 1-up-2-down-Verfahren anfänglich eine Pegeländerung von 6 dB gewählt. Nach dem ersten oberen Umkehrpunkt wurde diese auf 3 dB re-



duziert und beim zweiten oberen Umkehrpunkt weiter auf 1 dB (Hots und Verhey, 2015). Für ein ähnliches Vorgehen hatten sich Fruhmann et al. (2003) zur Bestimmung des Einflusses von Innenohrschwerhörigkeiten auf die Lautheitssummation entschieden. Dabei betrug die minimale Schrittweite jedoch 2 dB. Bei der „Hörschwellenschätzung mittels Registrierung von Distorsionsprodukten otoakustischer Emissionen (DPOAE) und Auditory Steady-State Responses (ASSR)“ (Fiedler, 2011) wurde eine asymmetrische Schrittweite, ähnlich der Lautheitsskalierung, gewählt. Die absteigende Schrittweite betrug 10 dB SPL und die ansteigende 5 dB SPL. Aufgrund der großen Unterschiede bei den Schrittweiten wurden für die adaptive Höranstrengungsskalierung in der Pilotstudie I zwei unterschiedliche Schrittweiten festgelegt. Zum einen die asymmetrische Schrittweite mit +3 dB und -5 dB sowie die symmetrische Schrittweite ( $\pm 3$  dB). In Sprachverständlichkeitsmessungen zeigte sich, dass in modulierten Maskierern bessere Resultate erzielt wurden als bei stationären Maskierern (u. a. Larsby et al., 2005; Hällgren et al., 2005; siehe auch Kapitel 2.1.1 und 2.1.3). Ein weiteres Ziel dieser Pilotstudie I ist demnach die Überprüfung, ob diese Unterschiede auch in der Höranstrengungsmessung ermittelt werden können.

## 3.2 Methode

### 3.2.1 Apparatur

Die durchgeführten Messungen fanden in einer schallisolierten Kabine im Hörzentrum Oldenburg statt. Alle Signale wurden D/A-konvertiert (Soundkarte RME ADI-8 Pro), verstärkt (Tucker-Davis HB7) und anschließend den Versuchspersonen über Kopfhörer (Sennheiser HDA 200) diotisch präsentiert. Im Vorfeld wurde der Kopfhörer kalibriert. Dafür wurde dieser auf den Kuppler (Brüel und Kjær Artificial Ear, Type 4153), in dem ein  $\frac{1}{2}$ " Mikrofon (Brüel und Kjær, Type 4189) integriert ist, aufgesetzt. Das Mikrofon wurde mit einem Messverstärker (Brüel und Kjær Measuring Amplifier, Type 2610) verbunden und bei 1 kHz mit 94 dB kalibriert. Anschließend wurde das Olnoise als Kalibriersignal verwendet. Für die grafische Darbietung der Skala während der Höranstrengungsmessung wurde ein Touchscreen verwendet.

### 3.2.2 Versuchspersonen

An den Pilotmessungen nahmen zehn normalhörende junge Erwachsene zwischen 19 und 31 Jahren (mittleres Alter: 23,8; m/w: 2/8) teil. Eine Hälfte der Versuchspersonen nutzte die 13-stufige, die andere Hälfte die 14-stufige Skala für die Bewertung der Höranstrengung (siehe Tabelle 3-1: Informationen über die Versuchspersonengruppen der Pilotstudie I).

Als normalhörend galten die Versuchspersonen, sobald ihre Hörschwelle im  $PTA_4$  (Mittelwert aus den Werten bei 500 Hz, 1, 2 und 4 kHz) besser als 20 dB HL war (siehe Anhang, Abb. 9-1). Die Versuchspersonen wurden zu zwei Messterminen eingeladen und bekamen eine Aufwandsentschädigung von 12 € pro Stunde. Fünf der zehn Versuchspersonen hat-

ten im Vorfeld der Messtermine keine Erfahrungen im Bereich von Sprachtests und Höranstrengungsmessungen. Sie wurden an der Universität Oldenburg (Standort Wechloy) akquiriert und sind Studenten aus verschiedenen Fachbereichen. Die anderen Versuchspersonen sind Studierende im Bereich Hörtechnik und Audiologie und waren mit dem OLSA, jedoch nicht mit der Messung der Höranstrengung, vertraut.

	Versuchspersonen der 13-stufigen Skala	Versuchspersonen der 14-stufigen Skala
Alter	Zwischen 21 und 27 Jahren (Durchschnittsalter: 24,0 Jahre)	Zwischen 19 und 31 Jahren (Durchschnittsalter: 23,6 Jahre)
Weiblich/männlich	4/1	4/1
PTA <sub>4</sub>	Rechts: 1,25 dB Links: 0,35 dB	Rechts: 1,75 dB Links: 1,55 dB
Erfahrungen	Vier Versuchspersonen aus dem Studiengang „Hörtechnik und Audiologie“	Eine Versuchsperson aus dem Studiengang „Hörtechnik und Audiologie“

Tabelle 3-1: Informationen über die Versuchspersonengruppen der Pilotstudie I

### 3.2.3 Messablauf

Die Pilotstudie I bestand aus zwei Messterminen (siehe Tabelle 3-2: Ablauf der Messtermine für die Pilotstudie I). Zu Beginn des ersten Messtermins wurde den Versuchspersonen die Studie erläutert und ihre Einverständniserklärungen eingeholt. Bevor das Tonaudiogramm (Luftleitung [LL] und Unbehaglichkeitsschwelle [UCL]) aufgenommen wurde, wurde mit Hilfe einer Otoskopie sichergestellt, dass das Ohr, der Gehörgang und das Trommelfell frei und gesund waren. Im Anschluss wurde über die Oldenburger Messprogramme die individuelle Sprachverständlichkeitsschwelle (engl.: speech recognition threshold, SRT) und die Steigung der psychometrischen Funktion ermittelt. Dafür wurde der Oldenburger Satztest (OLSA, Wagener et al., 1999a, b, c) verwendet. Zusätzlich fanden die Höranstrengungsmessungen statt. Beide Messungen wurden für zwei Maskierer durchgeführt. Hauptbestandteil des zweiten Messtermins waren die Höranstrengungsmessungen, wobei diese nochmals durchgeführt wurden.

Erster Messtermin	Zweiter Messtermin
Informationen zur Studie, Einverständniserklärung	
Tonaudiogramm (LL und UCL)	
Sprachverständlichkeitsmessung (SRT und Steigung) für zwei Maskierer	
Höranstrengungsmessung für zwei Maskierer und zwei Schrittweiten	Höranstrengungsmessung für zwei Maskierer und zwei Schrittweiten

Tabelle 3-2: Ablauf der Messtermine für die Pilotstudie I

### 3.2.4 Maskierer

Für die Messung der Höranstrengung und der Sprachverständlichkeit wurden zwei verschiedene Maskierer verwendet: das ISTS (engl.: International Speech Test Signal; Holube



et al., 2010) sowie das Olnoise. Das ISTS basiert auf Aufnahmen natürlicher Sprache. Dafür wurden die Stimmen von sechs verschiedenen weiblichen Sprechern, die in ihrer Muttersprache (amerikanisches Englisch, Arabisch, Chinesisch, Französisch, Deutsch, Spanisch) die Fabel „Nordwind und Sonne“ lasen, aufgezeichnet. Aufgrund von Segmentierung und Vermischung der sechs verschiedenen Aufnahmen, ist das Signal überwiegend unverständlich, bildet jedoch die zeitliche und spektrale Struktur einer Sprecherin nach. Beim Olnoise handelt es sich um den spezifischen Maskierer des OLSA. Dieses wurde durch zufällige Überlagerung der individuellen Wörter des Sprachmaterials erzeugt. Dabei hat das Rauschen dasselbe Langzeitspektrum wie das Sprachmaterial des OLSA, jedoch einen annähernd stationären Zeitverlauf.

### 3.2.5 Sprachverständlichkeitsmessung

Beim OLSA handelt es sich um einen adaptiven Satztest im Störgeräusch. Das Testmaterial besteht aus überwiegend sinnlosen Sätzen, die aus fünf Wörtern (Name, Verb, Zahlwort, Adjektiv, Objekt) zusammengesetzt sind. Die Sätze sind für die Versuchsperson nicht vorhersagbar, da für jeden Baustein zehn Wörter zur Verfügung stehen. Während der Messung bleibt der Störgeräuschpegel konstant, und der Sprachpegel wird adaptiv verändert. Die Aufgabe der Versuchspersonen besteht darin, die verstandenen Wörter nachzusprechen. Ziel ist es, den individuellen SRT und die Steigung der psychometrischen Funktion für zwei Maskierer (siehe Formel (1)) zu bestimmen (siehe Instruktion Anhang, Abb. 7-3). Für die Bestimmung der Steigung wird adaptiv die Schwelle für ein Sprachverstehen von 20 % und 80 % ermittelt und mit Hilfe dieser Werte die Steigung berechnet. Um die Messgenauigkeit zu erhöhen, wurde eine 30er-Liste verwendet und im Vorfeld die zwei empfohlenen Trainingslisten durchgeführt.

### 3.2.6 Adaptive Höranstrengungsskalierung

Für die Höranstrengungsmessungen wurden den Versuchspersonen drei hintereinander angeordnete Sätze des OLSA in einem Maskierer dargeboten. Während der Messung blieb der Pegel des Maskierers konstant, und der Pegel der Sprache änderte sich adaptiv, basierend auf der Bewertung der Höranstrengung durch die Versuchsperson. Durch die Veränderung des SNR wurden unterschiedlich anstrengende Hörsituationen erzeugt. Für die Durchführung wurde ein Startpegel des Testmaterials von 65 dB (0 dB SNR) gewählt. Der Darbietungspegel konnte anschließend während der Messung einen Wert von 40 dB nicht unterschreiten (minimaler Darbietungspegel) und 95 dB nicht überschreiten (maximaler Darbietungspegel). In der ersten Testphase der Messprozedur werden die Grenzen „müheless“ und „extrem anstrengend“ bestimmt. Anschließend werden den Versuchspersonen in der zweiten Testphase jeweils fünf verschiedene Pegel mehrfach innerhalb dieser Grenzen zur Bewertung dargeboten. Im nächsten Schritt findet eine Neuberechnung der Bewertungsgrenzen statt, wodurch die Messgenauigkeit erhöht wird. Basierend auf den neuen Grenzen bekommen die Versuchspersonen wieder mehrfach fünf verschiedene

Pegel präsentiert. Im letzten Schritt wiederholt sich die Neuberechnung der Grenzen und die Darbietung der verschiedenen Pegel.

In der Pilotstudie I wurden zwei Skalen getestet. Zum einen wurde die von Schulte et al. (2009) entwickelte 13-stufige Skala, die einen Bereich von „müheles“ bis „extrem anstrengend“ abdeckt, verwendet und die um den Punkt „nur Störgeräusch“ ergänzte Version (siehe Abb. 3-1). Jeder Bewertungskategorie wurde ein einheitsloser Zahlenwert (1 = „müheles“ bis 14 = „nur Störgeräusch“) zugeordnet.

nur Störgeräusch	14
extrem anstrengend	13
===	
sehr anstrengend	11
===	
deutlich anstrengend	9
===	
mittelgradig anstrengend	7
===	
wenig anstrengend	5
===	
sehr wenig anstrengend	3
===	
müheles	1

Abb. 3-1: 14-stufige Skala zur Bewertung der Höranstrengung. Den Bewertungskategorien sind Zahlenwerte von 1 („müheles“) bis 14 („nur Störgeräusch“) zugeordnet.

Des Weiteren wurde in dieser Pilotstudie die optimale Schrittweite zur adaptiven Berechnung der Sprachpegel ermittelt. Basierend auf der adaptiven kategorialen Lautheitsskalierung wurde eine asymmetrische Schrittweite gewählt. Jedoch wurden mit 3 dB für die Erhöhung und 5 dB für die Reduzierung kleinere Schrittweiten gewählt. Um jedoch einen möglichen Einfluss der Schrittweite auf die Messergebnisse ausschließen zu können, wurde zusätzlich eine symmetrische Schrittweite mit  $\pm 3$  dB getestet.

Für die Evaluation der Höranstrengungsmessungen hat die Hälfte der Versuchspersonen die 13-stufige, die andere Hälfte die 14-stufige Skala für die Bewertung der Höranstrengung verwendet. Die beiden Schrittweiten und die Maskierer wurden von beiden Versuchspersonengruppen in randomisierter Reihenfolge getestet. Als Testmaterial wurden für jede Bewertung drei aufeinanderfolgende Sätze des OLSA dargeboten, wobei der Maskierer kurz vor der Sprachdarbietung startete. Alle Versuchspersonen erhielten für die Messungen schriftliche Instruktionen, und zu Beginn der jeweiligen Messung fand ein

Training statt. Dies beinhaltete die Bewertung von fünf verschiedenen SNR-Werten für jeden Maskierer. Die SNR-Werte entsprachen denen des realen Testablaufs. Das Training diente dem Kennenlernen des Messverfahrens und des Maskierers. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, sich das Testmaterial anzuhören und anschließend ihre wahrgenommene Höranstrengung mit Hilfe der Skala widerzugeben (Instruktion siehe Anhang, Abb. 7-1 bzw. 7-2).

### 3.3 Ergebnisse

#### 3.3.1 Sprachverstehen

In Abb. 3-2 sind die Ergebnisse für alle Versuchspersonen dargestellt. Dabei ist der SRT für das Olnoise (links) und das ISTS (rechts) abgebildet. Auffällig ist dabei, dass die Versuchspersonen beim Olnoise ähnliche SRTs aufweisen. Diese reichen von -9,6 dB SNR bis -6,3 dB SNR (Median: -7,6 dB SNR) und entsprechen den Erwartungen aus der Literatur (-7,1 dB SNR; Wagener et al., 1999c). Für das ISTS liegt der SRT im Median bei -20,0 dB SNR. Dabei streuen die Werte von -16,7 dB SNR bis zu -30,5 dB SNR. Holube (2011) konnte mit einem mittleren SRT von -21,2 dB SNR einen ähnlichen Wert für das ISTS ermitteln.

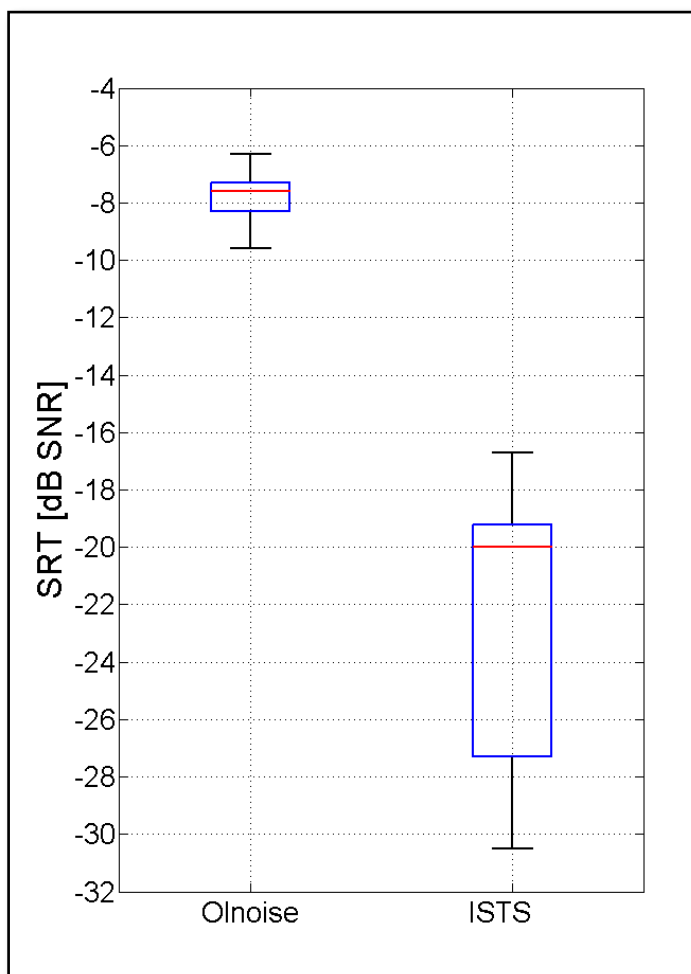


Abb. 3-2: Sprachverständlichkeitsschwellen für den Olnoise- und den ISTS-Maskierer ermittelt mit dem OLSA für zehn normalhörende Versuchspersonen. Die rote Linie stellt den Median dar. Die Grenzen der Box verdeutlichen die 25- und 75%-Perzentile und die anschließenden Linien den oberen bzw. unteren Whisker. Diese beinhalten die Datenpunkte, die nicht innerhalb der Box, aber innerhalb des 1,5-Fachen des Interquartilabstandes (Abstand zwischen dem oberen und unteren Quartil) nach oben und unten zu dieser liegen. Datenpunkte, die sich außerhalb dieser Whisker befinden, werden als Ausreißer bezeichnet und mit einem roten Kreuz gekennzeichnet.

Zusätzlich zum SRT wurde die Steigung der psychometrischen Funktion ermittelt. Mit Hilfe des SRT und der Steigung („slope“) kann die psychometrische Funktion (siehe Formel (1)) geschätzt werden.

$$SV(x) = \frac{1}{1 + e^{4 \cdot \text{slope} \cdot (\text{SRT} - x)}} \quad (1)$$

In Abb. 3-3 sind die psychometrischen Funktionen für den Maskierer Olnoise und in Abb. 3-4 für das ISTS dargestellt. Die rote Kurve stellt die über den Median des SRT und der Steigung aller zehn Versuchspersonen ermittelte psychometrische Funktion dar. Um den Streubereich der psychometrischen Funktionen besser darstellen zu können, wurde zusätzlich die maximale und minimale Funktion abgebildet. Dafür wurde der maximale bzw. minimale SRT der zehn Versuchspersonen ermittelt und mit der dazugehörigen Steigung die psychometrische Funktion berechnet. Bei der Betrachtung der psychometrischen Funktionen für den Maskierer Olnoise fällt auf, dass der Streubereich beim SRT mit ca. 3 dB sehr gering ist (siehe Abb. 3-3).

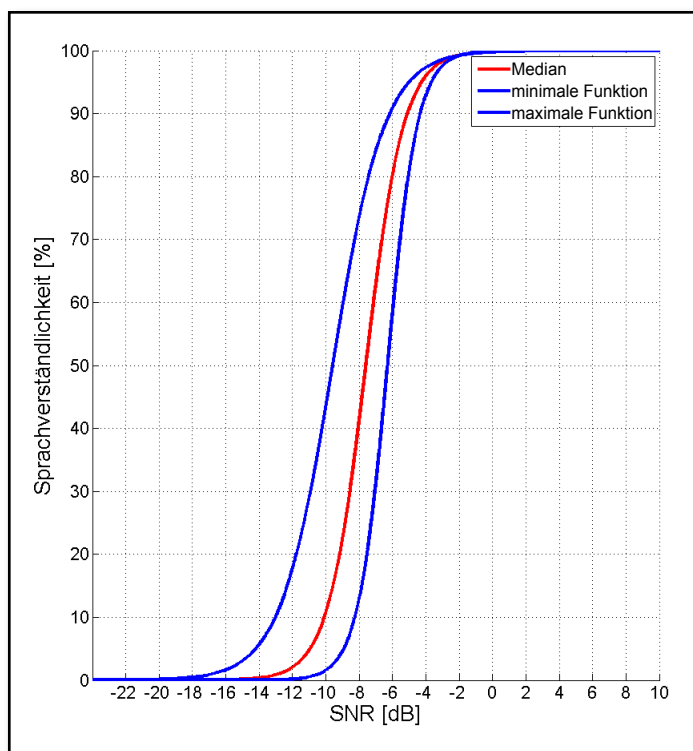


Abb. 3-3: Geschätzte psychometrische Funktion für das Olnoise. Dargestellt sind die maximale und minimale Funktion sowie der Median über die zehn Versuchspersonen.

Im Vergleich dazu beträgt dieser Streubereich beim ISTS-Maskierer ca. 14 dB (siehe Abb. 3-4), und die Ergebnisse zwischen den Versuchspersonen variieren stärker als für das Olnoise. Zusätzlich ist festzuhalten, dass für den ISTS-Maskierer eine mittlere Steigung von 5,8 %/dB ermittelt wurde und die psychometrischen Funktionen demzufolge einen flacheren Verlauf aufweisen als die für das Olnoise (mittlere Steigung: 22,0 %/dB).

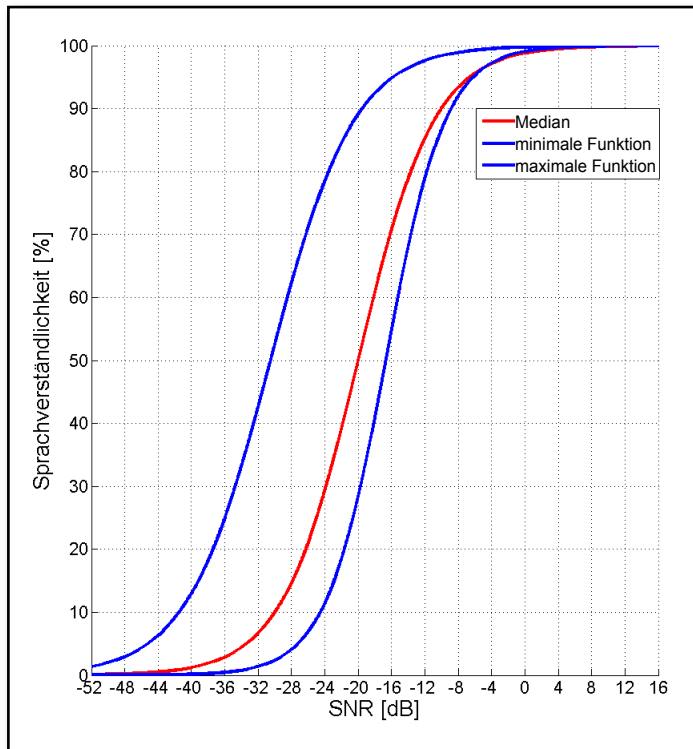


Abb. 3-4: Geschätzte psychometrische Funktion für das ISTS. Dargestellt sind die maximale und minimale Funktion sowie der Median über die zehn Versuchspersonen.

### 3.3.2 Höranstrengung

Im ersten Schritt der Auswertung wurden die Bewertungen der Versuchspersonen betrachtet. Ein Beispiel ist in Abb. 3-5 gegeben, in der die Bewertung einer Versuchsperson über dem SNR in dB aufgetragen ist. Dabei ist zu erkennen, dass die Versuchsperson für die Bewertung ausschließlich die beschrifteten Bewertungskategorien und nicht die Zwischenstufen gewählt hat. An die einzelnen Messergebnisse der Versuchsperson wurde eine Regressionsgerade angepasst. Diese Vorgehensweise ermöglicht die Beschreibung der Messergebnisse mit wenigen Parametern (Steigung und Achsenabschnitt) und einen besseren Vergleich der Versuchspersonen (siehe Abb. 3-6). Für die Berechnung der Regressionsgeraden wurde die Bewertungskategorie „nur Störgeräusch“ nicht berücksichtigt. Diese Kategorie wurde zur Vereinfachung der Bewertung der Höranstrengung eingeführt, wenn keine Sprache mehr wahrnehmbar war. Dementsprechend ist keine Information bezüglich der wahrgenommenen Höranstrengung enthalten.

In Abb. 3-6 sind die interindividuellen Unterschiede deutlich sichtbar. Für die weitere Analyse der Messergebnisse der unterschiedlichen Maskierer wurden die Steigung der Regressionsgerade sowie der Achsenabschnitt für jede Versuchsperson erfasst und über alle Versuchspersonen gemittelt.

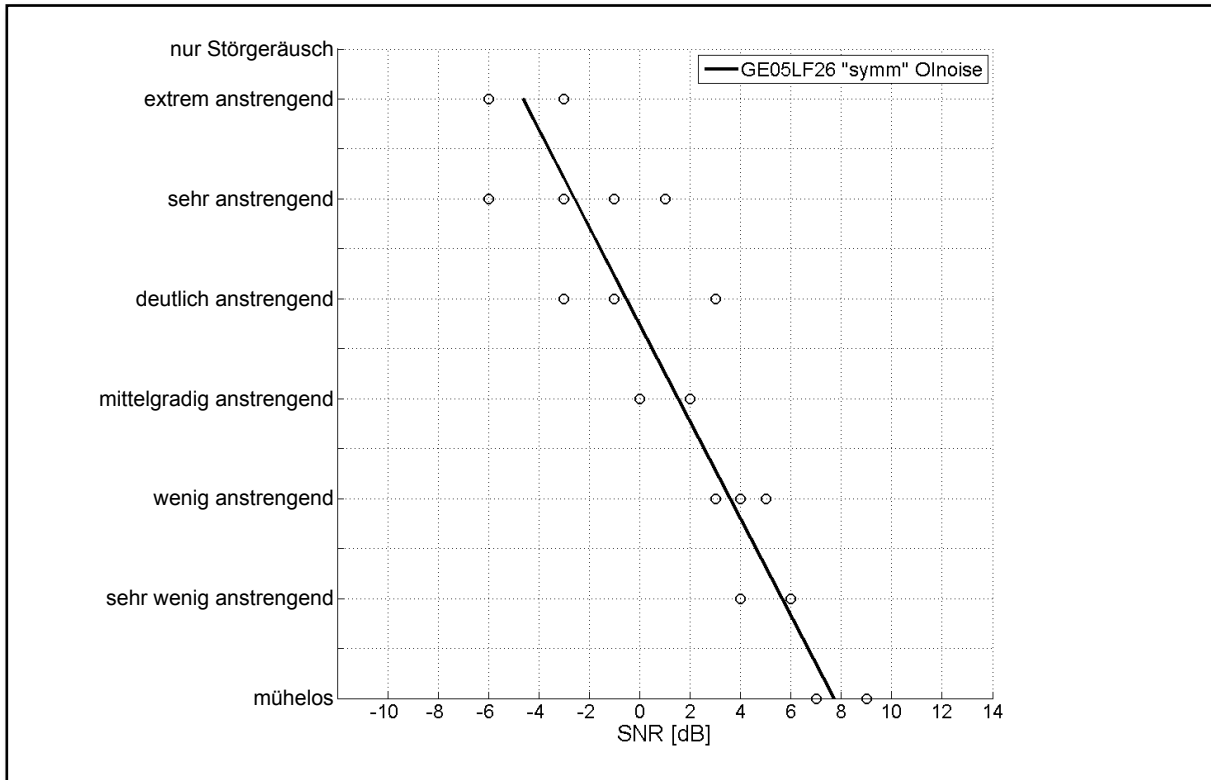


Abb. 3-5: Darstellung der Messergebnisse einer Versuchsperson und der daraus resultierenden Regressionsgerade für den Maskierer Olnoise. Ermittelt wurden die Messpunkte mit der 14-stufigen Skala und der symmetrischen Schrittweite. Aufgetragen ist die Höranstrengung über den SNR in dB.

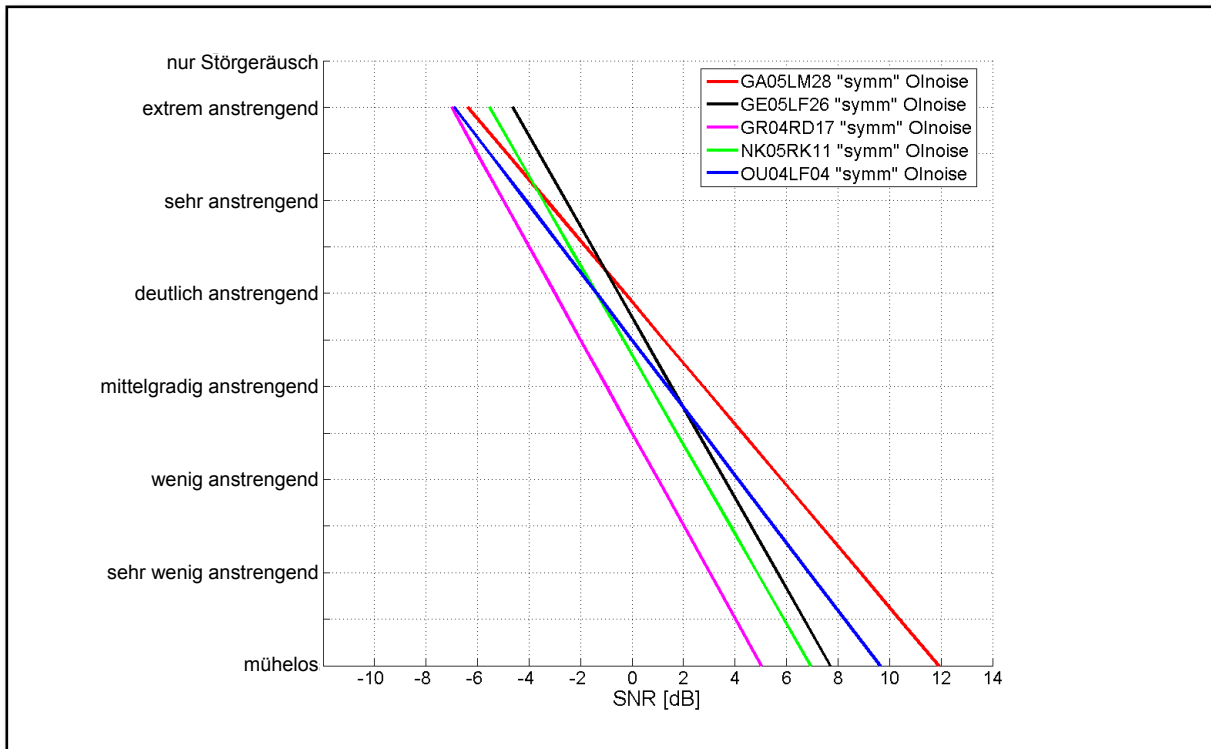


Abb. 3-6: Darstellung der Messergebnisse von fünf Versuchspersonen und der daraus resultierenden Regressionsgeraden für den Maskierer Olnoise. Ermittelt wurden die Messpunkte mit der 14-stufigen Skala und der symmetrischen Schrittweite. Aufgetragen ist die Höranstrengung über dem SNR in dB.

### 3.3.2.1 Vergleich der Skalen

Die Ergebnisse, die sich bei den Messungen mit den zwei unterschiedlichen Skalen ergaben, sind in Abb. 3-7 aufgetragen. Dabei verdeutlichen die blauen Linien die Ergebnisse für den ISTS-Maskierer und die schwarzen Linien die für das Olnoise. In Abb. 3-7 sind die Ergebnisse für die symmetrische Schrittweite dargestellt.

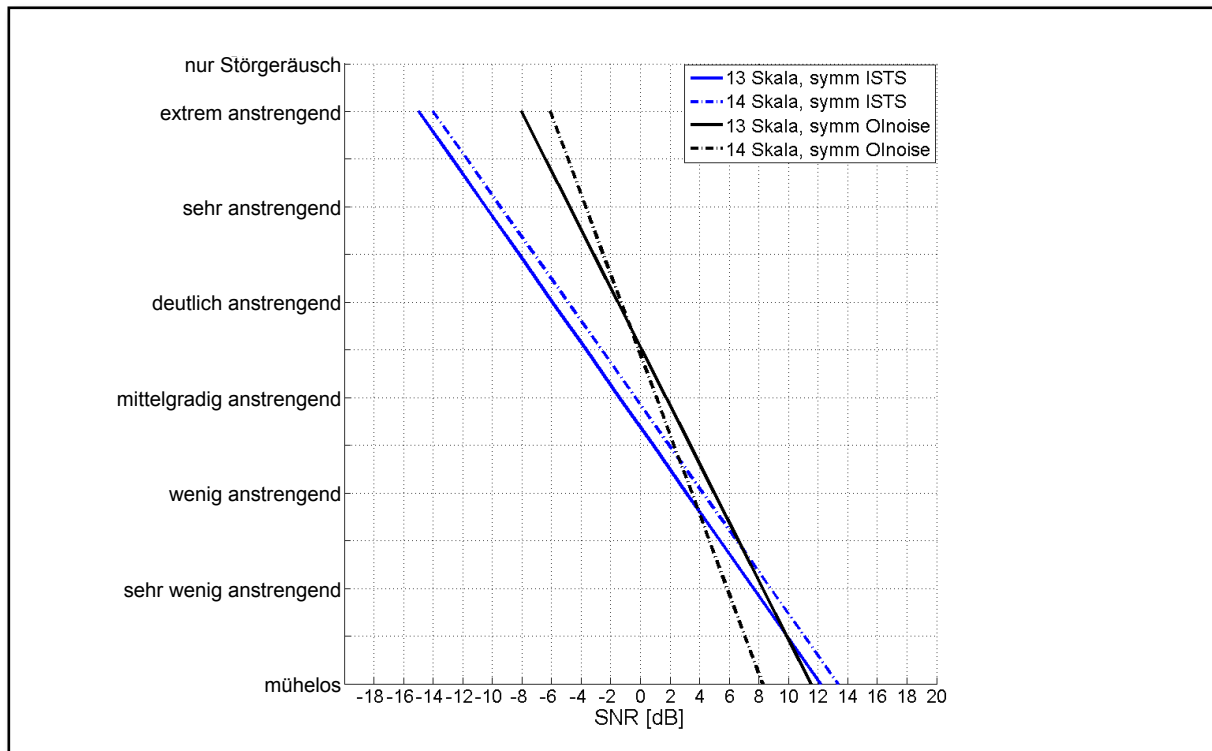


Abb. 3-7: Darstellung der Regressionsgeraden für die Maskierer ISTS (blaue Linien) und Olnoise (schwarze Linien) ermittelt unter Verwendung der symmetrischen Schrittweite und der 13-stufigen (durchgezogene Linien) bzw. 14-stufigen Skala (gestrichelte Linien). Aufgetragen ist die Höranstrengung über den SNR in dB.

Die Ergebnisse für den ISTS-Maskierer weisen für beide Skalen einen parallelen Verlauf auf und liegen mit einem Abstand von ca. 1 dB sehr dicht beieinander. Auffällig ist jedoch, dass die angegebene Höranstrengung bei Verwendung der 14-stufigen Skala oberhalb derer der 13-stufigen Skala liegt und die Signale mit dieser Skala somit als anstrengender bewertet wurden. Dieses Ergebnis findet sich auch bei dem Olnoise-Maskierer, jedoch nur im Bereich der Bewertungskategorie „deutlich anstrengend“ bis „extrem anstrengend“, wieder. Unterhalb von „deutlich anstrengend“ (in Richtung „mühelos“) wird die Anstrengung bei gleichem SNR für die 14-stufige Skala deutlich geringer eingestuft. Der Abstand zwischen den Regressionsgeraden beträgt bei der Bewertungskategorie „mühelos“ ca. 3 dB, wohingegen dieser bei „extrem anstrengend“ einen Wert von ca. 2 dB aufweist. Ähnliche Ergebnisse lassen sich bei der Verwendung der asymmetrischen Schrittweite feststellen (siehe Anhang, Abb. 9-2).

Zur weiteren Betrachtung der Ergebnisse wurden zusätzlich Histogramme erstellt, um Unterschiede zwischen den Skalen und den Bewertungseigenschaften zu ermitteln. In Abb. 3-8 ist das Bewertungsverhalten der Versuchspersonen für die 13-stufige Skala (obere Teilgrafik) und die 14-stufige Skala (untere Teilgrafik) dargestellt.

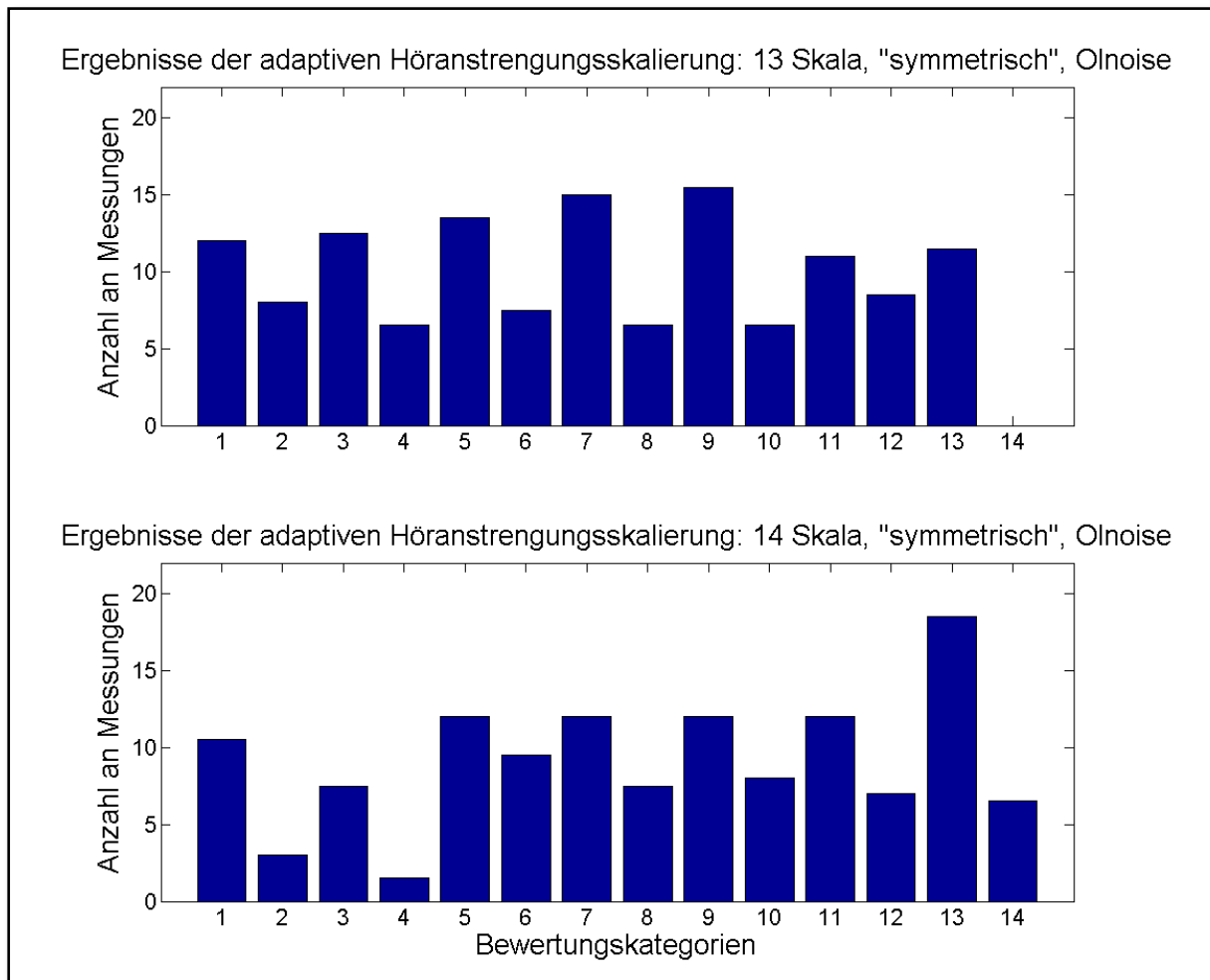


Abb. 3-8: Vergleich der Skalen mit Hilfe von Histogrammen. Die obere Teilgrafik beinhaltet die Ergebnisse für die 13-stufige Skala, die untere Teilgrafik die der 14-stufigen Skala. Dabei ist die Anzahl der Messpunkte in der jeweiligen Bewertungskategorie der Höranstrengung aufgetragen. Die Kategorie 1 repräsentiert „müheles“ und 14 „nur Störgeräusch“. Die Messdaten wurden für den Olnoise-Maskierer und die symmetrische Schrittweite ermittelt.

Insgesamt wurden 135 Bewertungen von den Versuchspersonen, die die 13-stufige Skala getestet haben, abgegeben. Bei der 14-stufigen Skala wurden 128 Bewertungen vorgenommen. Des Weiteren wird deutlich, dass das Bewertungsverhalten der Versuchspersonen bei den beiden Skalen etwas unterschiedlich ist. Besonders bei der 13-stufigen Skala wird offensichtlich, dass die Bewertungszwischenstufen (2, 4, 6, 8, 10, 12) weniger häufig verwendet wurden als die beschrifteten Bewertungsstufen. Interessant für den Skalenvergleich ist jedoch, wie häufig die Bewertungsstufe „extrem anstrengend“ verwendet wurde. Die relative Häufigkeit für diese Bewertungskategorie beträgt für die 13-stufige Skala 0,09,



wohingegen diese für die 14-stufige Skala bei 0,14 liegt. Die Zwischenstufe 12 wurde bei beiden Skalen jedoch ähnlich häufig verwendet (13-stufige Skala: 0,07; 14-stufige Skala: 0,05). Zusätzlich hatten die Versuchspersonen bei der 14-stufigen Skala die Möglichkeit, „nur Störgeräusch“ als Bewertungskategorie zu verwenden. Die relative Häufigkeit dafür beträgt 0,05.

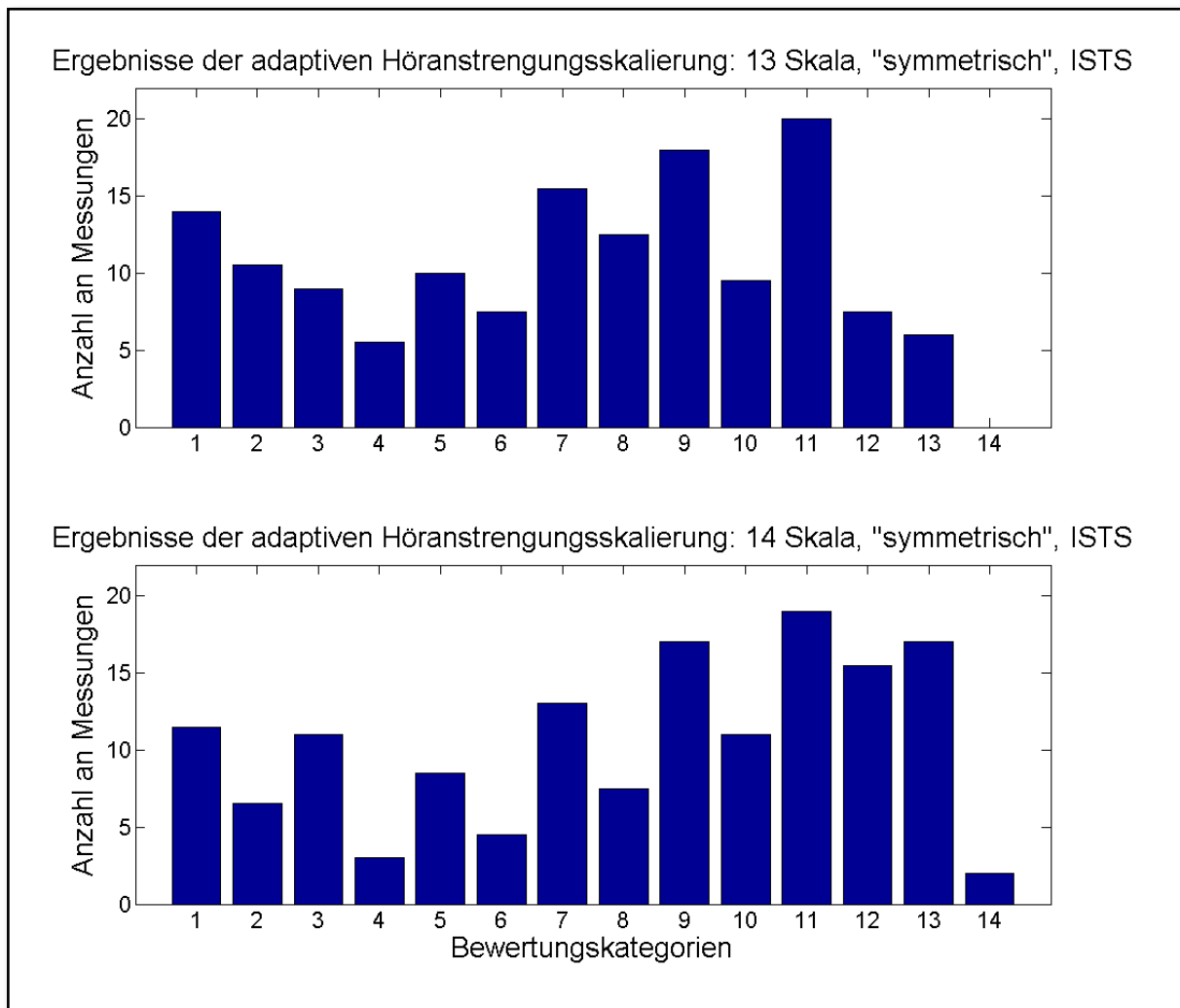


Abb. 3-9: Vergleich der Skalen mit Hilfe von Histogrammen. Die obere Teilgrafik beinhaltet die Ergebnisse für die 13-stufige Skala, die untere Teilgrafik die der 14-stufigen Skala. Dabei ist die Anzahl der Messpunkte in der jeweiligen Bewertungskategorie der Höranstrengung aufgetragen. Die Kategorie 1 repräsentiert „müheles“ und 14 „nur Störgeräusch“. Die Messdaten wurden für den ISTS-Maskierer und die symmetrische Schrittweite ermittelt.

Die Bewertungsunterschiede werden vor allem bei dem ISTS-Maskierer sehr deutlich (siehe Abb. 3-9). Die relative Häufigkeit für die Bewertungszwischenstufe 12 beträgt bei der 13-stufigen Skala 0,05 und für „extrem anstrengend“ 0,04 (146 gesamte Bewertungen), wohingegen die Versuchspersonen der 14-stufigen Skala beide Bewertungskategorien mit einer relativen Häufigkeit von 0,11 bzw. 0,12 bei einer Anzahl von 147 Bewertungen verwendet haben. Ähnliche Ergebnisse lassen sich bei dem Vergleich der Skalen bei der

asymmetrischen Schrittweite festhalten (siehe Anhang, Abb. 9-2 und 9-3). Die Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ wurde bei Verwendung der 14-stufigen Skala häufiger verwendet als bei der 13-stufigen Skala. Dies war für beide Maskierer feststellbar.

### 3.3.2.2 Vergleich der Schrittweiten

Eine der Hauptfragen der Pilotstudie I war die Untersuchung der optimalen Schrittweite für die Berechnung der Sprachpegel. Dem Konzept der kategorialen Lautheitsskalierung folgend wurde eine asymmetrische Schrittweite (+3 dB, -5 dB) und im Vergleich dazu eine symmetrische Schrittweite mit  $\pm 3$  dB verwendet. Die ermittelten Ergebnisse unter Verwendung der 14-stufigen Skala sind in Abb. 3-10 für beide Maskierer zusammengetragen.

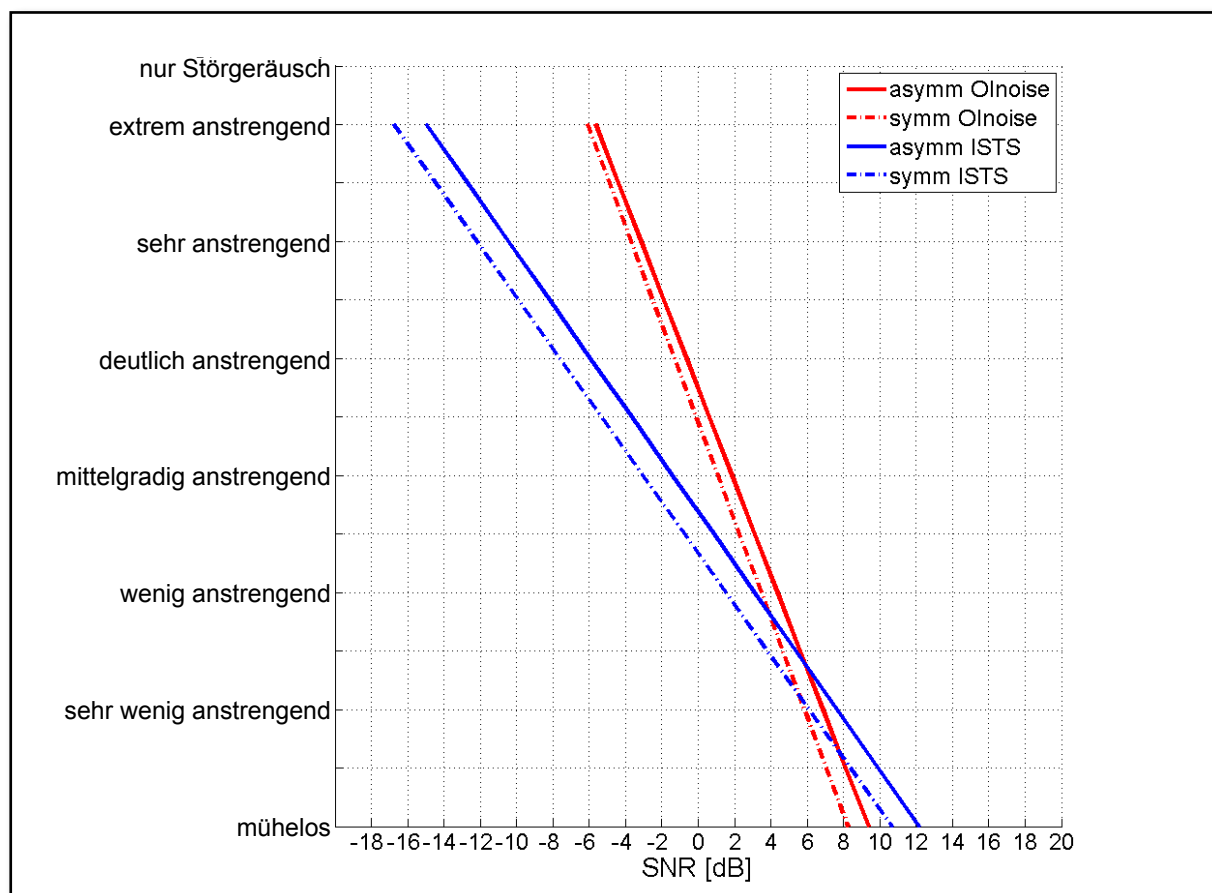


Abb. 3-10: Darstellung der Regressionsgeraden für die Maskierer ISTS (blaue Linien) und Olnoise (rote Linien). Die Messdaten wurden unter Verwendung der asymmetrischen (durchgezogene Linie) und symmetrischen Schrittweite (gestrichelte Linie) sowie der 14-stufigen Skala ermittelt. Aufgetragen ist die Höranstrengung über dem SNR in dB.

Die durchgezogenen Linien repräsentieren die asymmetrische und die gestrichelte Linie die symmetrische Schrittweite. Die Regressionsgeraden für die beiden Schrittweiten verlaufen für den ISTS-Maskierer (blaue Linien) sowie für das Olnoise (rote Linien) nahezu parallel. Der Abstand beträgt beim ISTS ca. 2 dB und beim Olnoise maximal 1 dB. Auffällig ist, dass bei beiden Maskierern die Höranstrengung bei den symmetrischen Schritten als weniger anstrengend bewertet wurde.

### 3.3.2.3 Vergleich der Maskierer

In den Kapiteln 3.3.2.1 und 3.3.2.2 wurden bereits die Ergebnisse der verschiedenen Skalen und Schrittweiten erläutert. Dabei wurde deutlich, dass die Höranstrengung für den ISTS- und Olnoise-Maskierer unterschiedlich wahrgenommen wird. In Abb. 3-11 sind die Ergebnisse für den ISTS- und Olnoise-Maskierer, ermittelt mit der 14-stufigen Skala und der symmetrischen Schrittweite, gegenübergestellt.

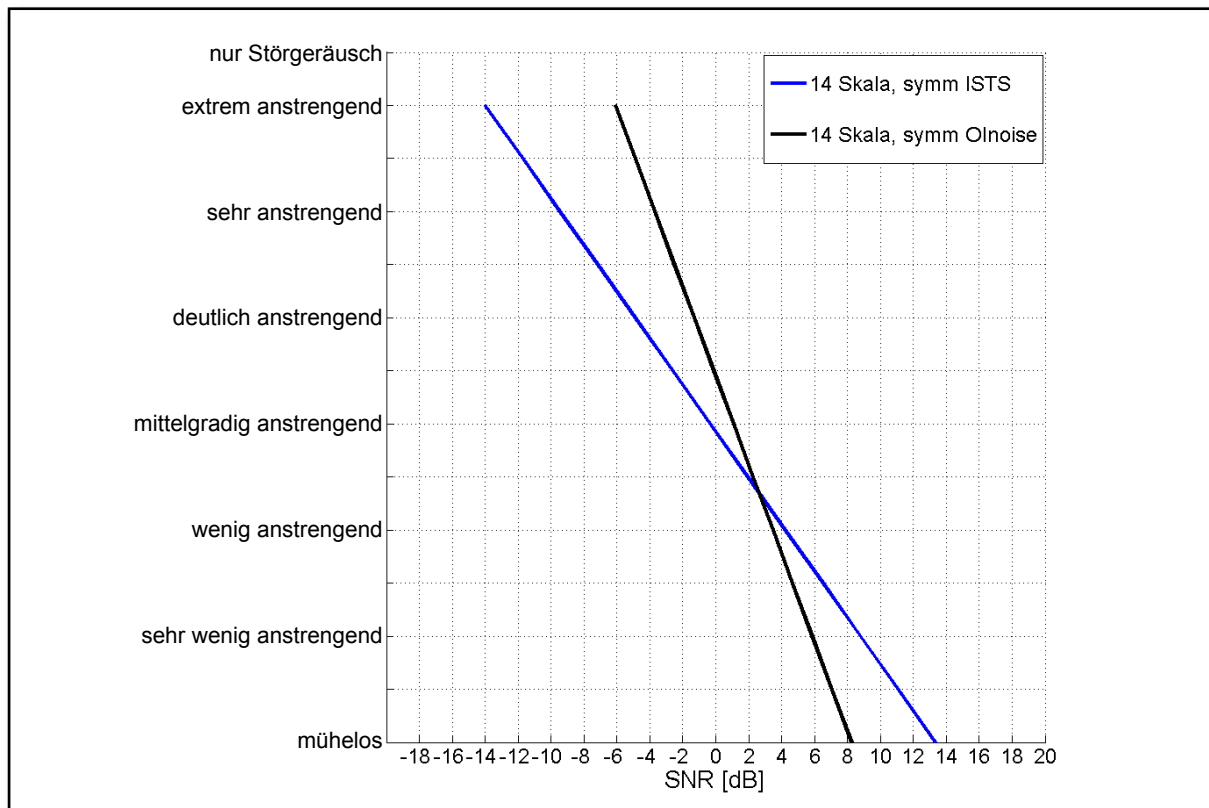


Abb. 3-11: Darstellung der Regressionsgeraden für die Maskierer ISTS (blaue Linie) und Olnoise (schwarze Linie). Die Messdaten wurden unter Verwendung der symmetrischen Schrittweite sowie der 14-stufigen Skala ermittelt. Aufgetragen ist die Höranstrengung über dem SNR in dB.

Dabei wird deutlich, dass bei negativen SNR-Werten das Olnoise als anstrengender bewertet wird als das ISTS. Zwischen den Regressionsgeraden bei der Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ befindet sich ein maximaler Abstand von 8 dB. Mit steigendem SNR nähern sich die Regressionsgeraden stetig an. Der Schnittpunkt liegt bei einem SNR von 3 dB und zwischen den Bewertungskategorien „wenig anstrengend“ und „mittelgradig anstrengend“. Anschließend wird das ISTS mit steigendem SNR als anstrengender wahrgenommen als das Olnoise.

### 3.3.2.4 Vergleich der Test- und Retest-Bedingung

Die Höranstrengungsmessungen wurden an zwei Terminen durchgeführt. Dies galt sowohl für die Versuchspersonen, die die 13-stufige Skala testeten, als auch für die Versuchs-

personen mit der 14-stufigen Skala. Der Vergleich der Test-Retest-Ergebnisse für die 13-stufige Skala und den Olnoise-Maskierer ist in Abb. 3-12 dargestellt.

Bei Betrachtung der Regressionsgeraden für die Test- und Retest-Bedingung wird deutlich, dass sich zwischen diesen sowohl für die symmetrische (schwarze Linien) als auch für die asymmetrische Schrittweite (rote Linien) vor allem bei der Bewertungskategorie „mühe-los“ ein deutlicher Abstand befindet. Dieser beträgt für die asymmetrische Schrittweite max. 3 dB und bei der symmetrischen max. 2 dB. Dieser Abstand verringert sich bis hin zu der Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ auf 1 dB bzw. 0,5 dB.

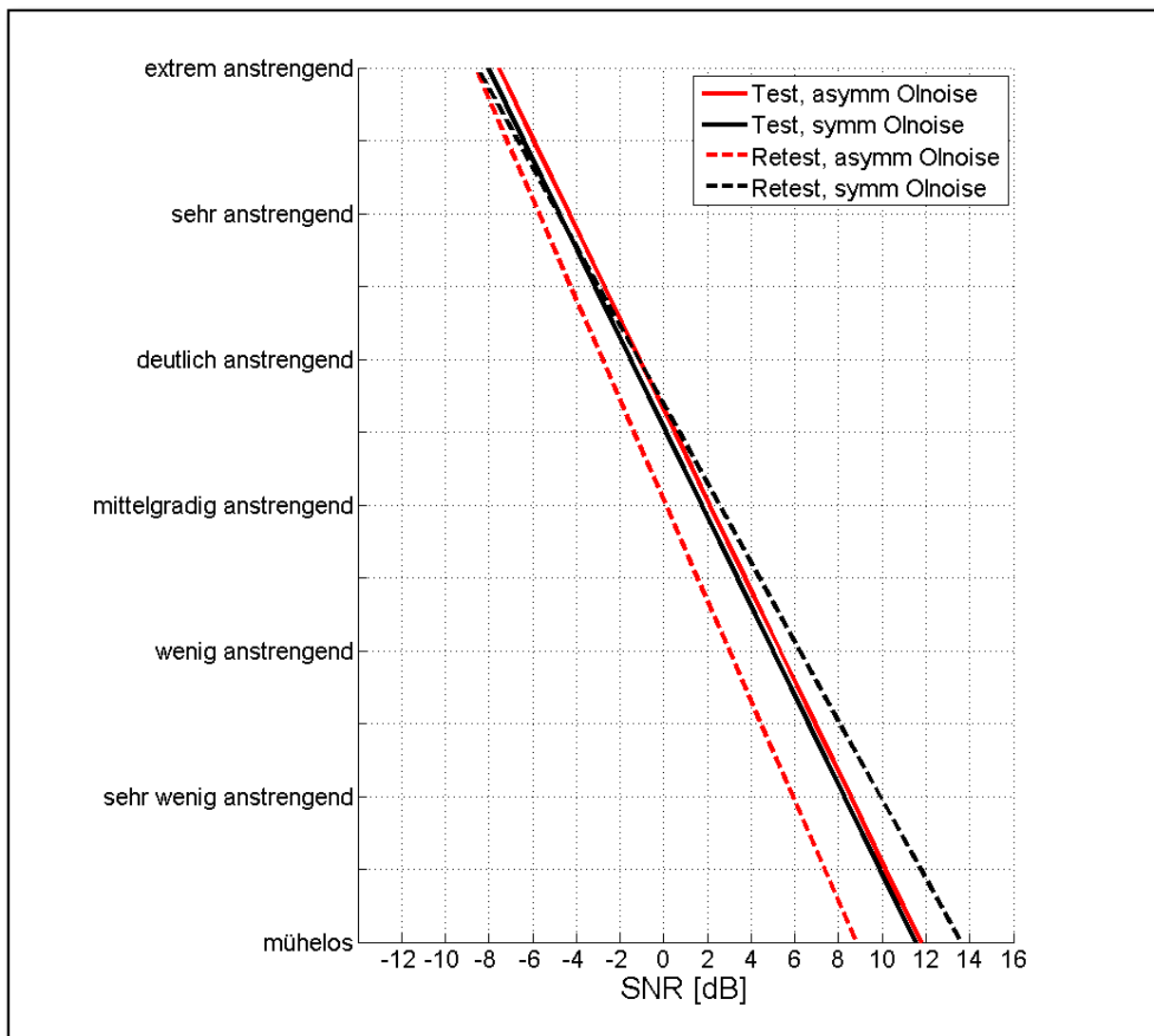


Abb. 3-12: Darstellung der Regressionsgeraden für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Bedingung (gestrichelte Linien) unter Verwendung des Olnoise-Maskierers. Die Messdaten wurden unter Verwendung der asymmetrischen (rote Linien) und symmetrischen Schrittweite (schwarze Linien) sowie der 13-stufigen Skala ermittelt. Aufgetragen ist die Höranstrengung über dem SNR in dB.

Ähnliche Ergebnisse wurden unter Verwendung der 14-stufigen Skala ermittelt. Jedoch beträgt der maximale Abstand zwischen der Test- und Retest-Bedingung bei der symmetrischen Schrittweite 1,5 dB und bei der asymmetrischen 2,5 dB.

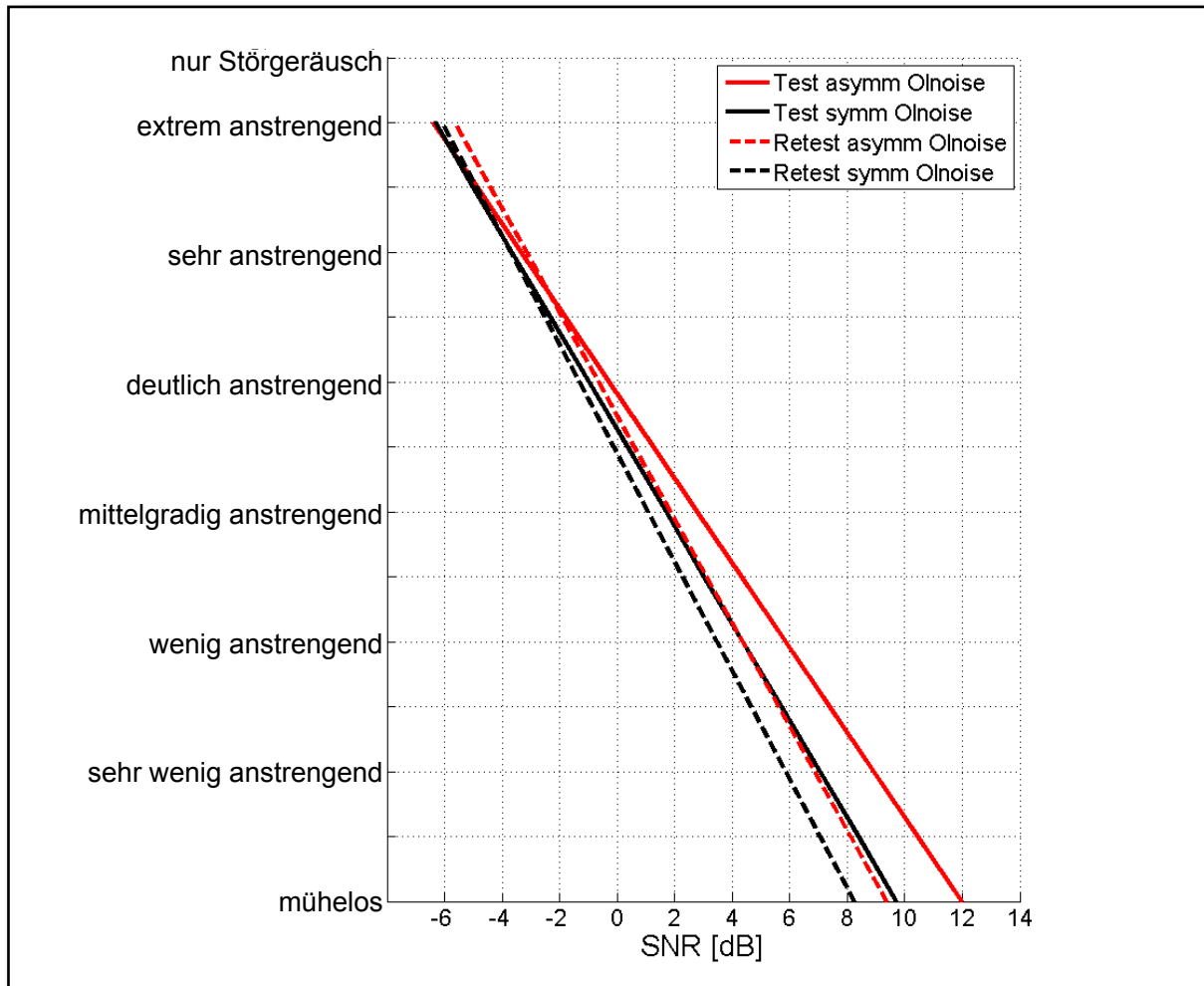


Abb. 3-13: Darstellung der Regressionsgeraden für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Bedingung (gestrichelte Linien) unter Verwendung des Olnoise-Maskierers. Die Messdaten wurden unter Verwendung der asymmetrischen (rote Linien) und symmetrischen Schrittweite (schwarze Linien) sowie der 14-stufigen Skala ermittelt. Aufgetragen ist die Höranstrengung über dem SNR in dB.

Auch bei Verwendung des ISTS-Maskierers zeigen sich ähnliche Ergebnisse (siehe Anhang, Abb. 10-5 und 10-6). Der Abstand zwischen den Test- und Retest-Ergebnissen ist bei Verwendung der symmetrischen Schrittweite geringer als bei der asymmetrischen. Des Weiteren liegen die Regressionsgeraden bei der 14-stufigen Skala im Vergleich zur 13-stufigen Skala enger zusammen.

## 3.4 Zusammenfassung und Diskussion

### 3.4.1 Sprachverstehen

Die für die Versuchspersonen ermittelten SRTs sind mit denen aus der Literatur vergleichbar (Wagener et al., 1999c; Holube, 2011) und entsprechen den Erwartungen. Der Verlauf der psychometrischen Funktionen für den Olnoise-Maskierer ist im Vergleich zum ISTS deutlich steiler. Demnach erreichen die Versuchspersonen in einem kleineren SNR-Bereich eine Sprachverständlichkeit von 0 % bis 100 %.

### 3.4.2 Adaptive Höranstrengungsskalierung

#### 3.4.2.1 Vergleich der Skalen

Das Antwortverhalten der Versuchspersonen unterscheidet sich bei den getesteten Skalen. Die spontanen Kommentare der Versuchspersonen bezüglich der Skalen ergaben, dass sich drei der fünf Versuchspersonen, die die 13-stufige Skala getestet haben, eine zusätzliche Kategorie gewünscht hätten, mit der die Situation bewertet werden kann, wenn keine Sprache wahrnehmbar ist (siehe Anhang, Tabelle 9-1). Alle Versuchspersonen gaben einstimmig an, dass sie in diesem Fall die Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ verwendeten. Dadurch kann nicht sicher davon ausgegangen werden, dass „extrem anstrengend“ auch wirklich „extrem anstrengend“ ist oder eventuell die Sprache gar nicht mehr wahrgenommen wurde. Die Tester der 14-stufigen Skala gaben alle an, dass sie die Bewertungskategorie „nur Störgeräusch“ sehr hilfreich fanden und auch benutzt haben. Außerdem wurden sie durch diese Kategorie bei der Wahl der maximalen Bewertungskategorie unterstützt. Bei beiden Skalen zeigte sich, dass überwiegend die beschrifteten Kategorien und weniger die Zwischenstufen zur Bewertung der Höranstrengung verwendet wurden. Demnach sind die Zwischenstufen nicht unbedingt benötigt worden, um die Anstrengung zu kategorisieren.

Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass es unterschiedliche Versuchspersonen waren, die die 13-stufige bzw. 14-stufige Skala getestet haben. Zudem war die Anzahl der Versuchspersonen sehr gering. Trotz dieser Gegebenheiten wurde für die weitere Evaluation der Messmethode zur Erfassung der subjektiven Höranstrengung die 14-stufige Skala verwendet.

#### 3.4.2.2 Vergleich der Schrittweite

Die Ergebnisse des Schrittweitenvergleichs zeigten, dass bei beiden Maskierern die Höranstrengung bei der symmetrischen Schrittweite als weniger anstrengend bewertet wurde. Die asymmetrische Schrittweite wurde aufgrund der Anlehnung an die kategoriale Lautheitsskalierung getestet. Bei dieser Messmethode ist zum einen der Dynamikbereich mit maximalen Pegeln zwischen 0 und 115 dB deutlich größer als bei der Höranstrengungsskalierung (zwischen 40 und 95 dB), und zum anderen ist mit einem maximalen Pegel von 115 dB die Gefahr größer, dass der Pegel zu laut wird.

Da sich die Ergebnisse der Höranstrengungsmessungen für die beiden Schrittweiten nicht stark unterscheiden und der dargebotene Pegelbereich während des Tests durch das Messverfahren begrenzt wird, wird für die weitere Evaluation des Messverfahrens die symmetrische Schrittweite verwendet.

#### **3.4.2.3 Vergleich der Maskierer**

Die SRT-Messung zeigte Unterschiede zwischen den fluktuierenden und stationären Maskierern auf (siehe Kapitel 3.3.1). Die Schwellen waren gemessen im ISTS-Maskierer bei niedrigeren Pegeln als im Olnoise. Auch die adaptive Höranstrengungsskalierung konnte Unterschiede zwischen den Maskierern erfassen. Bei negativen SNR-Werten wurde die Höranstrengung beim ISTS-Maskierer als weniger anstrengend bewertet, und die Sprachverständlichkeit (siehe Kapitel 3.3.1) war besser als im Olnoise. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass die adaptive Höranstrengungsskalierung Unterschiede in der wahrgenommenen Höranstrengung zwischen fluktuierenden und stationären Maskierern erfasst.

#### **3.4.2.4 Vergleich der Test- und Retest-Bedingung**

Der Vergleich der Test-Retest-Ergebnisse zeigte, dass sich unabhängig von der verwendeten Skala und Schrittweite ein Abstand zwischen den Regressionsgeraden, ermittelt in der Test- und Retest-Bedingung, befindet. Jedoch sind die Unterschiede zwischen ihnen geringer, wenn die 14-stufige Skala und die symmetrische Schrittweite verwendet wurden. Dies spiegelt sich sowohl für den Olnoise-Maskierer als auch für das ISTS wider. Diese Erkenntnis bestätigt die bereits in Abschnitt 3.4.2.1 und 3.4.2.2 getroffenen Entscheidungen zugunsten der 14-stufigen Skala und der symmetrischen Schrittweite.

## 4. Pilotstudie II

### 4.1 Einleitung

Die Pilotstudie I lieferte Ergebnisse zu der optimalen Schrittweite für die Berechnung des Sprachdarbietungspegels sowie für die am besten geeignete Skala. Daraus folgend wurden für die Pilotstudie II die 14-stufige Skala und die symmetrische Schrittweite verwendet.

Für die Durchführung der Pilotstudie I wurde ein Startpegel des Testmaterials von 65 dB (0 dB-SNR) gewählt. Dies beruht auf der Überlegung, dass dies der normalen Gesprächslautstärke entspricht und für normalhörende Versuchspersonen die Höranstrengung im Bereich zwischen „mühelos“ und „mittelgradig anstrengend“ liegen sollte. Für schwerhörige Versuchspersonen hingegen wäre der Bereich zu höherer Anstrengung verschoben. Demzufolge wäre es sinnvoll, den Startpegel individuell dem Schweregrad der Hörverluste anpassen zu können. Es wurde jedoch beobachtet, dass der Startpegel bei subjektiven Messungen Einfluss auf die Messergebnisse nehmen kann (Schlüter, 2007). Dieser Pegel könnte von den Versuchspersonen als Anker für die weiteren Bewertungen angenommen werden. Die Untersuchung des vermuteten Einflusses des Startpegels auf die Bewertungen und die resultierenden Ergebnisse ist Hauptbestandteil der Pilotstudie II.

Die Höranstrengungsmessung soll für unterschiedliche Versuchspersonengruppen geeignet sein. Messungen für Normalhörende und unversorgte Schwerhörige sind über Kopfhörer möglich, jedoch kein Vergleich von „versorgten“ und „unversorgten“ Messungen. Um sicherzustellen, dass durch die Messmethode sowohl für Kopfhörer als auch über Lautsprecher sensitive Ergebnisse ermittelt werden können, wurde in der Pilotstudie II im Gegensatz zur Pilotstudie I das Testmaterial über Lautsprecher präsentiert.

In vielen Studien wurde die subjektive Bewertung der Höranstrengung bei festen SNR-Werten ermittelt (Holube, 2011; Zekveld et al., 2010; Störmer, 2010; Haeder et al., 2014; Schulte et al., 2011; Luts et al., 2010; Ortmann et al., 2013). Für einen Vergleich der statischen und adaptiven Skalierung wurden beide Methoden in der Pilotstudie II durchgeführt.

### 4.2 Methode

#### 4.2.1 Apparatur

Die Messungen der Pilotstudie II wurden ebenfalls in einer schallisolierten Kabine im Hörzentrum Oldenburg durchgeführt. Alle Signale wurden D/A-konvertiert (Soundkarte RME ADI-8 Pro), verstärkt (Tucker-Davis HB7) und anschließend den Versuchspersonen über Lautsprecher (Mackie HR 824) in der  $S_0N_0$ -Konstellation präsentiert. Für die grafische Darbietung der Skala wurde ein Touchscreen verwendet. Im Vorfeld wurde das Messequipment kalibriert. Dafür wurde das Messmikrofon (Brüel und Kjær, Type 4189) so positioniert, dass es der Höhe und Position des Ohres der Versuchspersonen entsprach. Als



Referenz für die Kalibrierung wurde der Olnoise-Maskierer verwendet und mit Hilfe des Schallpegelmessers (Brüel und Kjær „Modular Precision Sound Analyzer“, Modell 2260) auf 65 dB eingeregelt.

#### 4.2.2 Versuchspersonen

Für die Pilotstudie II wurden zehn normalhörende Versuchspersonen zwischen 19 und 31 Jahren (mittleres Alter: 23,8; m/w: 2/8) mit einer Hörschwelle zwischen 250 Hz und 4 kHz besser als 20 dB HL zu einem Messtermin eingeladen. Neun der zehn Versuchspersonen waren bereits Teilnehmer der Pilotstudie I und hatten somit Erfahrungen mit der Höranstrengungsmessung. Wie bereits in der Pilotstudie I wurden die Versuchspersonen mit 12 € pro Stunde für ihren Aufwand entschädigt.

#### 4.2.3 Messablauf

Die Pilotstudie II bestand aus einem Messtermin. Der Termin begann mit den allgemeinen Informationen über die Studie, der Einholung der Einverständniserklärungen sowie der Messung des Tonaudiogramms. Anschließend wurden die Höranstrengungsmessungen durchgeführt. Dabei wurde die Reihenfolge der Messmethode (adaptiv, statisch), der Maskierer (Olnoise, ISTS) und der Startpegel randomisiert. Innerhalb der Pilotstudie II haben alle Versuchspersonen die adaptive und statische Messmethode sowie alle Startpegel getestet.

#### 4.2.4 Maskierer

Für die Durchführung der adaptiven und statischen Skalierung wurden, wie in der Pilotstudie I, die Maskierer Olnoise und ISTS verwendet.

Für beide Maskierer wurden vier Startpegel getestet. Innerhalb der Pilotstudie I wurde festgestellt, dass die subjektiv wahrgenommene Höranstrengung für die Maskierer über den Pegelbereich unterschiedlich ist. Dieser befindet sich für das ISTS in einem Bereich von -20 dB SNR und +15 dB SNR, wohingegen der Pegel beim Olnoise zwischen -8 dB SNR und +14 dB SNR liegt. Aufgrund dieses Wissens wurden für das Olnoise und das ISTS unterschiedliche Startpegel gewählt (siehe Tabelle 4-1).

	Startpegel			
Olnoise	-5 dB SNR (60 dB SPL)	0 dB SNR (65 dB SPL)	5 dB SNR (70 dB SPL)	10 dB SNR (75 dB SPL)
ISTS	-20 dB SNR (45 dB SPL)	-10 dB SNR (55 dB SPL)	0 dB SNR (65 dB SPL)	10 dB SNR (75 dB SPL)

Tabelle 4-1: Gewählte Startpegel für die adaptive Skalierung für den Olnoise- und ISTS-Maskierer. Der Pegel für den Maskierer lag konstant bei 65 dB SPL.

#### 4.2.5 Höranstrengungsmessungen

Die Höranstrengungsmessungen wurden adaptiv und statisch durchgeführt. Die Versuchspersonen wurden nicht darüber informiert, welche Methode im Folgenden getestet

werden sollte. Um dies zu gewährleisten, wurde eine identische Instruktion verwendet (siehe Anhang, Abb. A6-2). Vor der ersten Höranstrengungsmessung wurde ein Training zur Verdeutlichung des Testablaufs durchgeführt.

Zusätzlich zur adaptiven Skalierung der Höranstrengung wurde die statische Methode nach Schulte et al. (2009) getestet. In dieser Methode waren die SNR-Werte vorgegeben, welche jeweils dreimal randomisiert den Versuchspersonen dargeboten wurden. Die Ergebnisse für die adaptive und die statische Skalierungsmethode sollen Aufschluss über die Vergleichbarkeit beider Messmethoden liefern. Die Darbietungspegel für die statische Methode wurden aufgrund der Ergebnisse der Pilotstudie I und vorheriger Studien (u. a. Schulte et al., 2009; Luts et al., 2010) ausgewählt. Folgende Darbietungspegel wurden für die statische Methode verwendet:

	Darbietungspegel						
Olnoise	-10 dB SNR	-7 dB SNR	-4 dB SNR	-1 dB SNR	2 dB SNR	5 dB SNR	8 dB SNR
ISTS	-23 dB SNR	-17 dB SNR	-11 dB SNR	-5 dB SNR	1 dB SNR	7 dB SNR	---

Tabelle 4-2: Gewählte Darbietungspegel für die statische Skalierung für den Olnoise- und ISTS-Maskierer. Der Pegel für den Maskierer lag konstant bei 65 dB SPL.

#### 4.2.6 Statistische Analyse

Für die statistische Auswertung der erhobenen Messergebnisse wurde die Software SPSS verwendet. Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte, dass die Mehrheit der Daten normalverteilt ist. Dies ermöglicht die Verwendung der ANOVA für Messwiederholungen und den t-Test für abhängige Stichproben als Post-hoc-Test. Das Signifikanzniveau wurde mit  $\alpha = 0,05$  gewählt, wobei dieser bei Post-hoc-Tests Bonferroni-korrigiert wurde.

Für die statistische Analyse wurden die Werte für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“ verwendet. Diese Kategorien beschreiben sowohl die Bewertungsgrenzen als auch den Bereich der mittleren Anstrengung.

### 4.3 Ergebnisse

#### 4.3.1 Vergleich der Startpegel für die adaptive Höranstrengungsskalierung

Die Ergebnisse für den Olnoise-Maskierer sind in Abb. 4-1 dargestellt. Bei der ersten Betrachtung der Ergebnisse wird deutlich, dass die subjektiv wahrgenommene Höranstrengung bei unterschiedlichen Startpegeln nahezu identisch ist. Selbst im Bereich der Bewertungskategorie „müheless“ beträgt die Abweichung zwischen den Regressionsgeraden maximal ca. 2 dB. Die ANOVA für Messwiederholungen bestätigte diese Vermutung (siehe detaillierte Aufstellung in Anhang C6). Es wurde kein signifikanter Effekt der Startpegel (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,542$ ,  $F(1,625) = 1,611$ ,  $p = 0,232$ ) und keine Interaktion zwischen Startpegel und den Bewertungskategorien der Höranstrengung (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,232$ ,  $F(2,085) = 1,256$ ,  $p = 0,309$ ) gefunden.

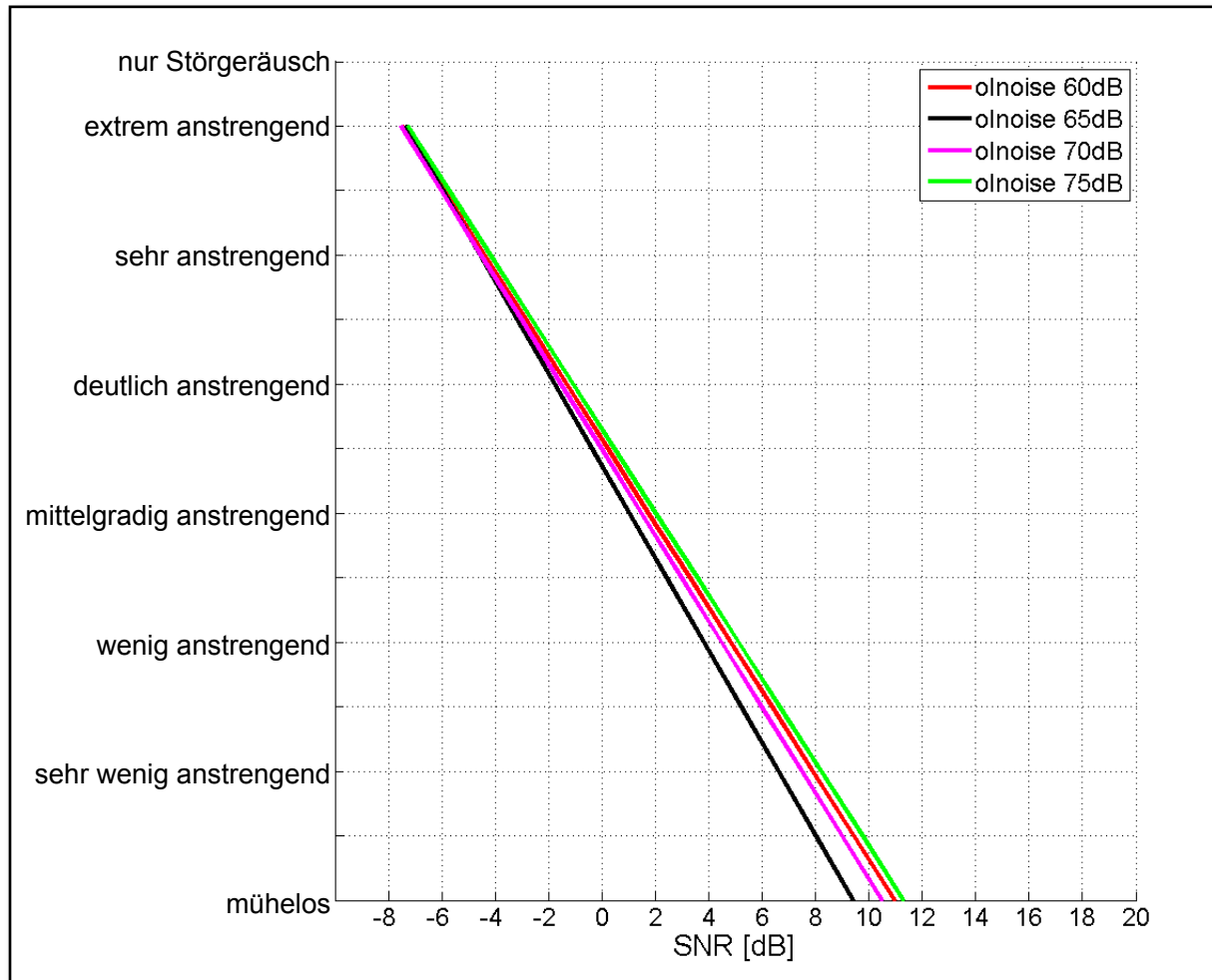


Abb. 4-1: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer Olnoise mit vier verschiedenen Startpegeln (60, 65, 70 und 75 dB SPL)

Die Abb. 4-2 beinhaltet die Ergebnisse für den ISTS-Maskierer ermittelt für die Startpegel 45, 55, 65 und 75 dB SPL. Es zeigt sich, dass die Regressionsgeraden dicht beieinander, jedoch nicht wie beim Olnoise-Maskierer, nahezu aufeinanderliegen. Der maximale Unterschied zwischen den Regressionsgeraden beträgt bei der Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ ca. 1 dB und bei „mühelos“ ca. 2,5 dB. Die Überprüfung der Ergebnisse unter Verwendung der ANOVA für Messwiederholungen konnte keine signifikanten Effekte der Startpegel ( $F(3) = 1,938$ ,  $p = 0,147$ ) und auch keine Interaktion zwischen Startpegel und Höranstrengung (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,202$ ,  $F(1,816) = 0,590$ ,  $p = 0,550$ ) ermitteln (siehe detaillierte Aufstellung in Anhang C7).

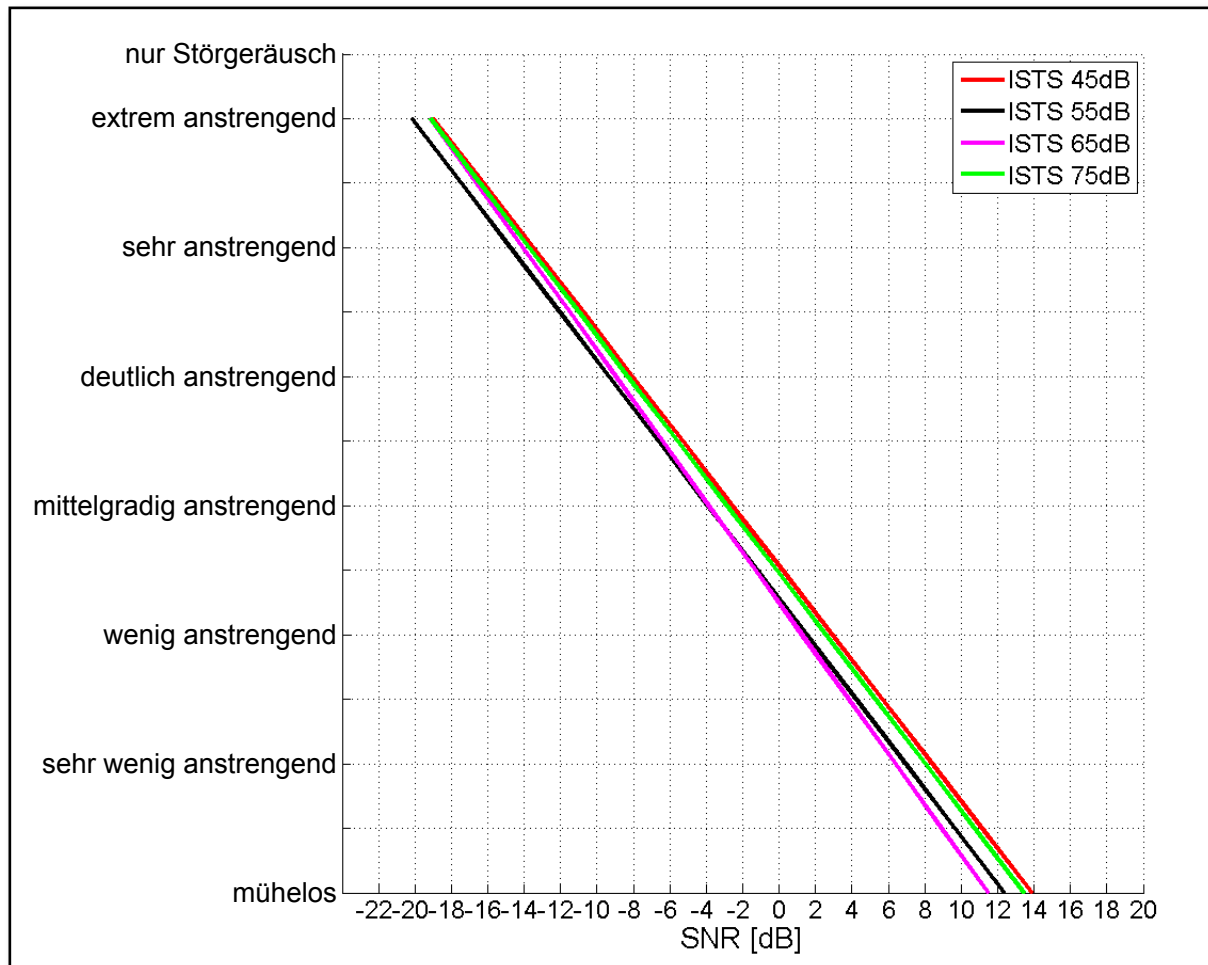


Abb. 4-2: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer ISTS mit vier verschiedenen Startpegeln (45, 55, 65 und 75 dB SPL)

#### 4.3.2 Vergleich der Messmethoden „adaptiv“ und „statisch“

Die Betrachtung der Ergebnisse in Abb. 4-3 zeigt, dass beide Messmethoden für den jeweiligen Maskierer ähnliche Resultate liefern. Die Regressionsgeraden des Olnoise-Maskierers für die adaptive und statische Messmethode weisen einen parallelen Verlauf auf. Der Abstand zwischen ihnen beträgt ca. 0,5 dB. Auch beim ISTS-Maskierer liegen die Regressionsgeraden dicht beieinander. Der größte Abstand findet sich bei der Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ (ca. 1,5 dB) und wird bis zu „mühelos“ marginal gering. Die ANOVA für Messwiederholung konnte bei keinem der Maskierer einen signifikanten Effekt der Messmethoden (Olnoise: Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 1,000$ ,  $F(1,000) = 0,737$ ,  $p = 0,413$ ; ISTS: Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 1,000$ ,  $F(1,000) = 0,391$ ,  $p = 0,547$ ) und keine Interaktion zwischen Messmethode und Höranstrengung (Olnoise: Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,333$ ,  $F(1,000) = 0,135$ ,  $p = 0,722$ ; ISTS: Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,333$ ,  $F(1,000) = 1,383$ ,  $p = 0,270$ ) aufzeigen (siehe detaillierte Aufstellung in Anhang C8 und C9).

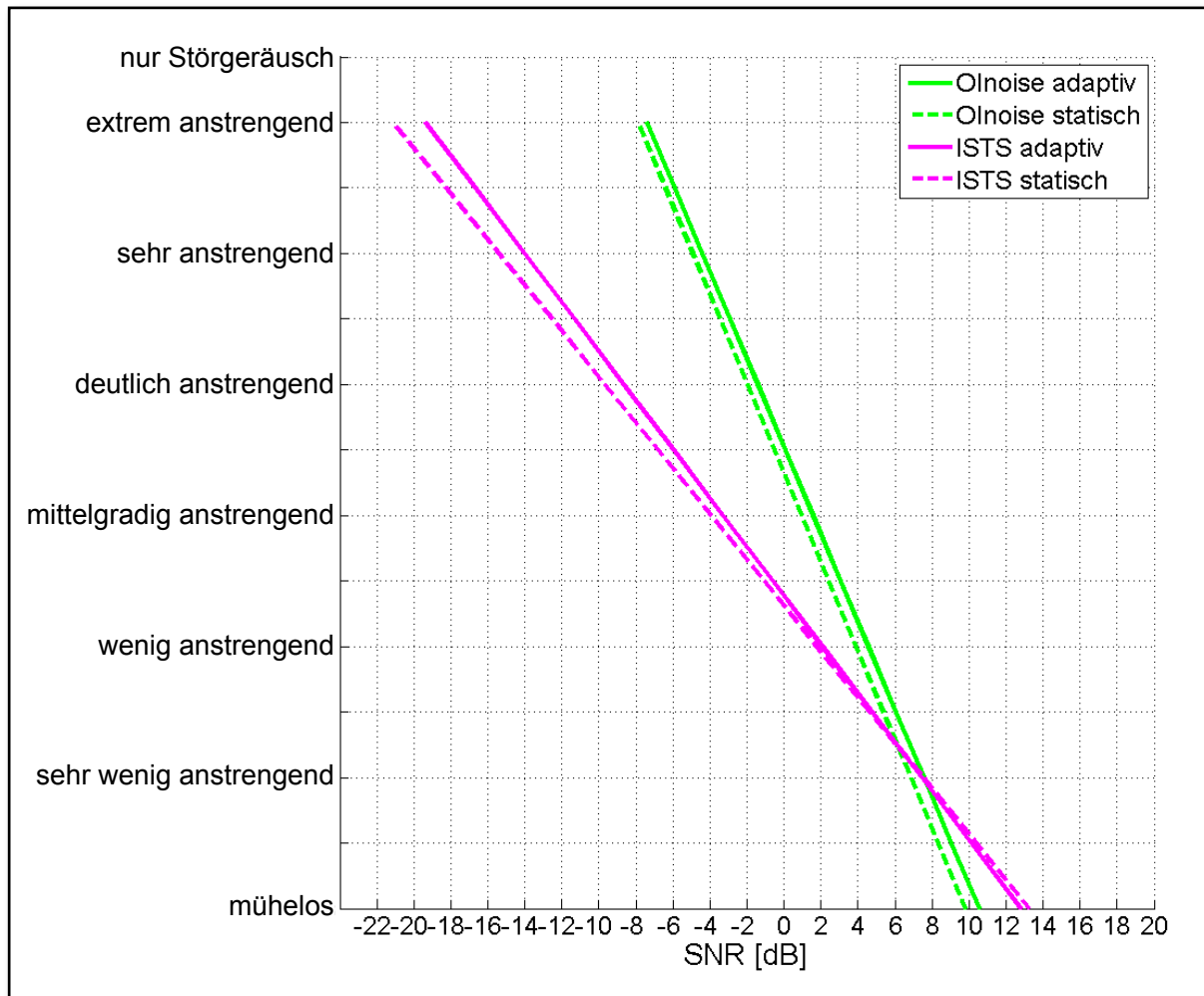


Abb. 4-3: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer ISTS (magentafarbene Linien) und Olnoise (grüne Linien) unter Verwendung der adaptiven (durchgezogene Linien) und statischen Messmethode (gestrichelte Linien)

Die ANOVA für Messwiederholung lassen keine signifikanten Effekte der Messmethode erkennen. Für einen besseren Vergleich der Ergebnisse der statischen und adaptiven Methode wurden die Einzelergebnisse der Versuchspersonen betrachtet. In Abb. 4-4 sind als Beispiel die Ergebnisse einer Versuchsperson für den Olnoise-Maskierer dargestellt. Die ermittelten Regressionsgeraden für die statische (schwarze Linie) und die adaptive (rote Linie) Messmethode sind nahezu identisch. Auffällig ist jedoch, dass bei der statischen Methode nur der Bereich von der Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ bis „mittelgradig anstrengend“ abgedeckt ist, jedoch nicht der Bereich bis „mühelos“. Die vorgegebenen SNR-Werte sind demzufolge nicht optimal gewählt, um die zur Verfügung stehenden Bewertungskategorien auszunutzen. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich bei der Verwendung des ISTS-Maskierers (siehe im Anhang, Abb. C6-10).

Es gibt aber auch Versuchspersonen, bei denen die ausgewählten SNR-Werte der Wahrnehmung besser entsprachen (siehe Abb. 4-5). Im Bereich von „extrem anstrengend“ liegen die Regressionsgeraden für die statische und adaptive Methode aufeinander. Die

Geraden gehen bis hin zur Bewertungskategorie „müheles“ weiter auseinander und weisen einen Abstand von ca. 1,5 dB bei „müheles“ auf. Die Ergebnisse zeigen, dass für diese Versuchsperson beide Messmethoden ähnliche Ergebnisse liefern.



Abb. 4-4: Subjektive Höranstrengung einer Versuchsperson in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer Olnoise unter Verwendung der adaptiven (rote Linie) und statischen Messmethode (schwarze Linie)

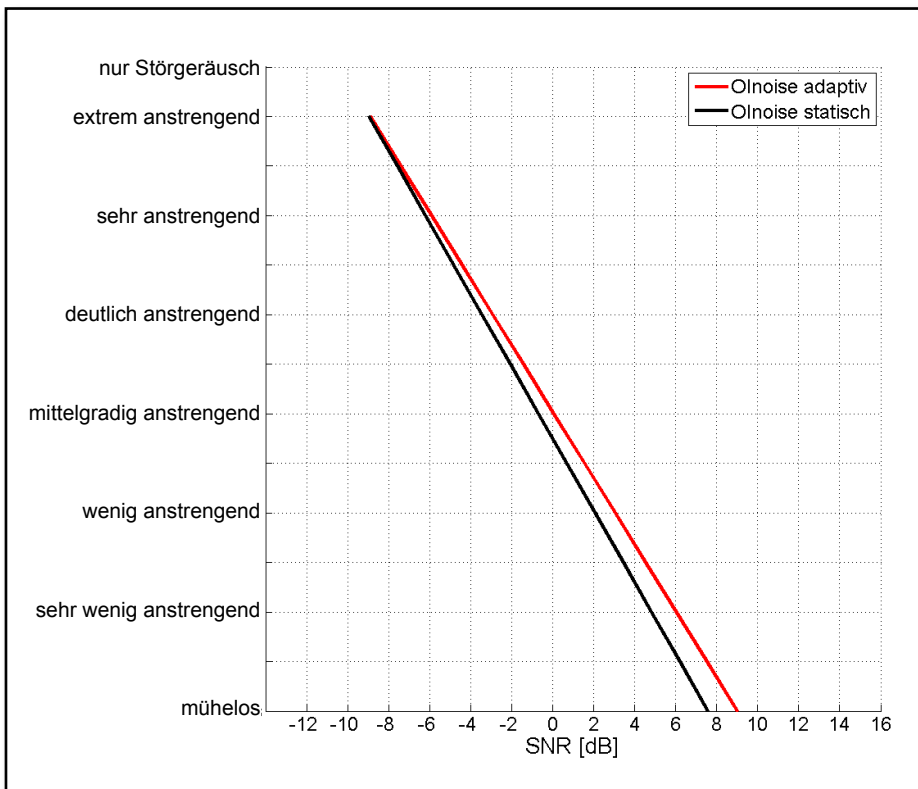


Abb. 4-5: Subjektive Höranstrengung einer Versuchsperson in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer Olnoise unter Verwendung der adaptiven (rote Linie) und statischen Messmethode (schwarze Linie)

## 4.4 Zusammenfassung und Diskussion

### 4.4.1 Vergleich der Startpegel für die adaptive Höranstrengungsskalierung

In der Pilotstudie II wurde der Einfluss der Startpegel untersucht. Dabei konnte unabhängig vom Störgeräusch festgestellt werden, dass die Wahl des Startpegels keinen signifikanten Effekt auf die Bewertung der Höranstrengung hat. Demzufolge kann der Startpegel für die Hauptstudie abhängig von der Versuchspersonengruppe individuell gewählt werden, ohne einen möglichen Einfluss auf die Ergebnisse zu erhalten.

Der Vergleich der Messergebnisse aus der Pilotstudie I ermittelt mit Kopfhörer und der Pilotstudie II (Lautsprecher) lässt ähnliche Verläufe bei den Regressionsgeraden erkennen. Jedoch unterscheiden sich die SNR-Werte, bei denen die Versuchspersonen die Bewertungskategorien „müheless“ und „extrem anstrengend“ verwendet haben. Die adaptive Höranstrengungsskalierung kann demzufolge über Kopfhörer oder Lautsprecher durchgeführt werden. Jedoch muss beim Vergleich von Messdaten darauf geachtet werden, dass die Messkondition identisch ist.

### 4.4.2 Vergleich der Messmethoden „adaptiv“ und „statisch“

Der Vergleich der statischen und adaptiven Messmethode zeigte keine Hinweise auf signifikante Effekte. Jedoch machte die Betrachtung der Einzelergebnisse deutlich, dass der getestete SNR-Bereich nicht für alle Versuchspersonen optimal gewählt wurde. Die SNR-Werte reichten teilweise nicht aus, um den gesamten Bereich der Skala abzudecken. Andererseits zeigte sich, dass andere Versuchspersonen die Skala individuell ausnutzen können.

Die Einzelbetrachtung der Ergebnisse für die statische und adaptive Methode verdeutlichte, dass interindividuelle Unterschiede zwischen Versuchspersonen durch die adaptive Methode erfasst werden können. Dies ist durch die Vorgabe der festen SNR-Werte für die statische Methode nur bedingt möglich. Des Weiteren zeigte sich, dass bei Verwendung der adaptiven Methode die gesamte Skala ausgenutzt wird, bei der statischen Methode ist dies hingegen ohne Vortests nur bedingt möglich.



## 5. Hauptstudie

### 5.1 Einleitung

Das Ziel der Pilotstudien war, die optimalen Parameter für die adaptive Höranstrengung zu finden. So wurden in der Pilotstudie I die optimale Schrittweite und die passende Bewertungsskala sowie anschließend der Einfluss des Startpegels in der Pilotstudie II untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die symmetrische Schrittweite und die 14-stufige Skala für die adaptive Skalierung am geeignetsten sind. Des Weiteren konnte ein Einfluss des Startpegels ausgeschlossen werden.

Das Ziel der Hauptstudie war vor allem, die Eignung der Methode, die Höranstrengung sensitiv zu erfassen, zu untersuchen. Die adaptive Skalierungsmethode der Höranstrengung basiert dabei auf der statischen Methode, die sensitiv sowohl für normal- und schwerhörende Versuchspersonen als auch für Hörgeräteträger ist (Holube, 2011; Larsby et al., 2005; Hällgren et al., 2005; Zekveld et al., 2011; Haeder et al., 2014; Luts et al., 2010; Schulte et al., 2009). Die Pilotstudien zeigten, dass die adaptive Höranstrengungsskalierung ebenfalls sensitive Messdaten für normalhörende Versuchspersonen erfasst. Für die weitere Evaluation dieser Messmethode war es jedoch sinnvoll, die Versuchspersonengruppen zu erweitern. Zum einen musste überprüft werden, ob das Messverfahren für schwerhörende Versuchspersonen geeignet und durchführbar ist. Dies ist besonders für Evaluationen neuer Hörgerätealgorithmen wichtig. Zum anderen sollte das Verfahren mit jungen und älteren Versuchspersonen getestet werden, da nicht jedes Verfahren für beide Altersgruppen geeignet ist.

Bei der Wahrnehmung von Sprache in Störgeräuschen ist die Höranstrengung je nach Art des Störgeräusches unterschiedlich. Diese Unterschiede konnten durch kognitive Messungen (u. a. Picou et al., 2013; Larsby et al., 2005; Störmer, 2013; Rennie et al., 2014), aber auch anhand von subjektiven Bewertungen (u. a. Holube, 2011; Larsby et al., 2005; Störmer, 2010; Schulte et al., 2007) nachgewiesen werden. Da für eine adaptive Skalierungsmethode noch keine Erfahrungswerte vorlagen, wurden für die Hauptstudie vier verschiedene Maskierer ausgewählt: zwei stationäre und zwei fluktuierende Maskierer. Das Ziel dieser Hauptstudie ist es zu zeigen, dass auch die adaptive Höranstrengungsskalierung sowohl für normalhörende als auch schwerhörende Versuchspersonen Unterschiede zwischen den Maskierern nachweisen kann. Zudem sollte der von Schulte et al. (2009) vermutete Zusammenhang zwischen Höranstrengung und Sprachverständlichkeit genauer untersucht werden.

Ein besonderes Augenmerk hatten in der Hauptstudie die Messungen mit und ohne Hörgeräteversorgung. Für die mögliche Verwendung der Messmethode bei der Evaluation neuer Hörgerätealgorithmen ist es notwendig, dass vor allem im Bereich, in dem mittels Sprachverständlichkeitstest keine Unterschiede mehr erfassbar sind, das Messverfahren



sensitive Messdaten liefert. Der Grund dafür ist, dass vor allem Störgeräuschalgorithmen in positiven SNR-Bereichen ihre Wirkung zeigen. Jedoch befinden sich in diesen Bereichen Sprachverständlichkeitstests bereits im Sättigungsbereich und können mögliche Unterschiede zwischen Algorithmen nicht mehr erfassen. Luts et al. (2010) zum Beispiel ermittelten Unterschiede in der statischen Höranstrengungsmessung, jedoch nicht in den Ergebnissen des OLSA. Genau in diesem Bereich soll die adaptive Höranstrengungsskalierung sensitive Ergebnisse, d. h. Unterschiede zwischen verschiedenen Hintergrundgeräuschen, erzielen. Während der Untersuchungen findet die Einweisung der Versuchspersonen mit Hilfe einer schriftlichen Instruktion statt. Besonders im Hinblick auf eine mögliche Implementierung in bestehende Messapparaturen und für den Einsatz in Kliniken ist es von Bedeutung, dass die Instruktion verständlich und selbsterklärend ist. Um sicherzustellen, dass die Instruktion für die Versuchspersonen verständlich ist, wurde deshalb die Hauptstudie mit den Normalhörenden als Blindstudie durchgeführt.

Zusätzlich zu den bereits genannten Aspekten ist ein wichtiger Teil der Evaluation einer neuen Messmethode die Test-Retest-Reliabilität. Aus diesem Grund wurden in der Hauptstudie die Versuchspersonen zu mehreren Terminen eingeladen, und sie führten die Messungen mehrfach durch.

Zusammenfassend wurden für die Hauptstudie folgende Untersuchungsziele festgelegt:

- Evaluation der Messmethode hinsichtlich einer sensitiven Erfassung von Höranstrengung
- Erfassung von sensitiven Unterschieden zwischen stationären und fluktuierenden Maskierern
- Untersuchung der Einsetzbarkeit des Messverfahrens für junge und ältere sowie normal- und schwerhörende Versuchspersonen
- Erfassung von sensitiven Unterschieden zwischen versorgten und unversorgten Messungen
- Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Sprachverständlichkeit und Höranstrengung
- Überprüfung der schriftlichen Instruktion
- Ermittlung der Test-Retest-Reliabilität

## 5.2 Methode

### 5.2.1 Apparatur

Die Messungen der Hauptstudie fanden, wie die der Pilotstudien, in einer schallisolierten Kabine im Hörzentrum Oldenburg statt. Für die Signalwiedergabe wurde der D/A-Wandler „RME ADI-8 Pro“ verwendet, und die Testsignale wurden den Versuchspersonen über

einen „Mackie HR 824“-Lautsprecher in der  $S_0N_0$ -Konstellation präsentiert. Für die grafische Darbietung der Skala wurde ein Touchscreen verwendet. Im Vorfeld fand eine Kalibrierung des Messequipments statt. Dafür wurde das Messmikrofon (Brüel und Kjær, Type 4189) so positioniert, dass es der Höhe und Position des Kopfes der Versuchspersonen entsprach. Als Referenz für die Kalibrierung wurde der Olnoise-Maskierer verwendet und mit Hilfe des Schallpegelmessers Brüel und Kjær „Modular Precision Sound Analyzer“, Modell 2260, auf 65 dB eingeregelt.

## 5.2.2 Versuchspersonen

An der Hauptstudie nahmen 15 normalhörende Versuchspersonen zwischen 21 und 31 Jahren (Durchschnittsalter: 24,5 Jahre; m/w: 9/6) sowie 15 schwerhörige Versuchspersonen zwischen 50 und 78 Jahren (Durchschnittsalter: 68 Jahre; m/w: 9/6) teil. Als normalhörend galten die Versuchspersonen, sobald ihre Hörschwelle im  $PTA_4$  (Mittelwert aus den Werten bei 500 Hz, 1, 2 und 4 kHz) besser als 25 dB HL war (siehe Abb. D6-11 in Anhang D1).

Bei der Auswahl der schwerhörigen Versuchspersonen stand vor allem die Hörgerätebauform im Vordergrund. Die Versuchspersonen sollten RIC-Hörgeräte-Träger mit Dome (RIC = Receiver-in-the-Canal-Hörgeräte) sein. Bei RIC-Geräten handelt es sich um aktuelle und gängige Hörgeräte, und die Voraussetzungen für die Versuchspersonen sind ähnlich. Für die Messungen trugen die Versuchspersonen ihre eigenen Hörgeräte in der gewohnten Einstellung. Der Hörverlust der schwerhörigen Versuchspersonen ist in Abb. 5-1 grafisch dargestellt. Es ergab sich ein gemittelter  $PTA_4$  von 42 dB für die linke und rechte Hörschwelle.

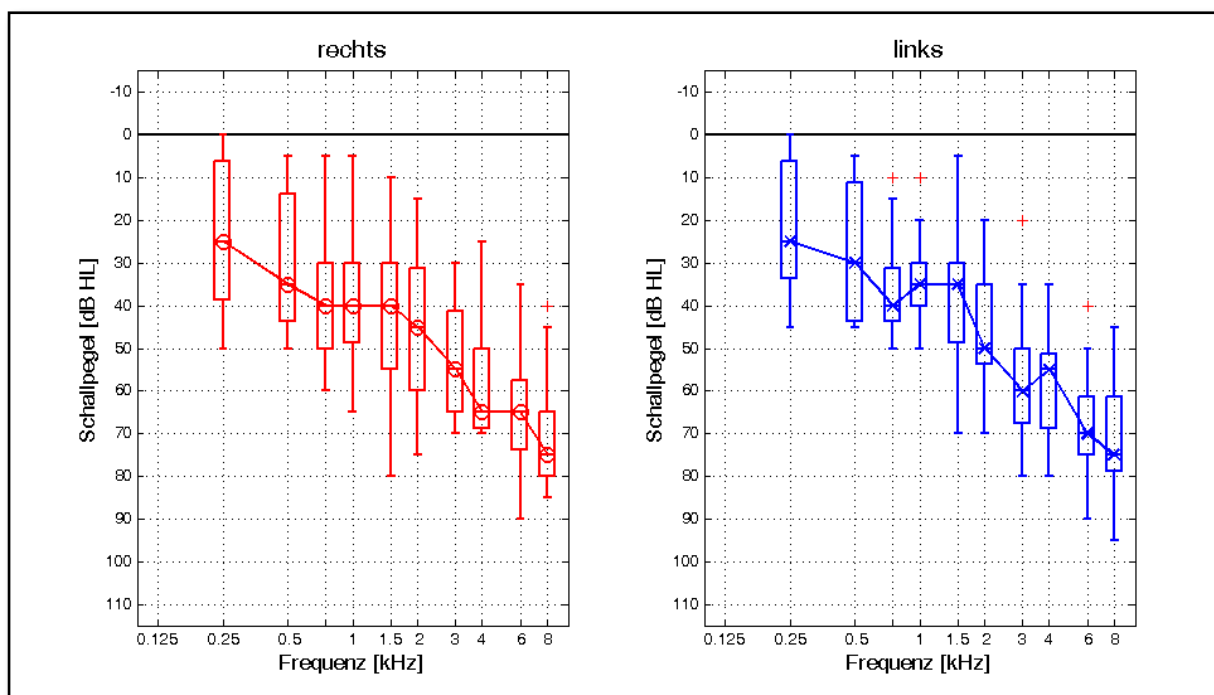


Abb. 5-1: Hörschwelle in dB HL für die schwerhörigen Versuchspersonen

Alle Versuchspersonen hatten im Vorfeld an keiner Höranstrengungsmessung im Hörzentrum Oldenburg teilgenommen und waren dementsprechend unvoreingenommen gegenüber dem Messverfahren. Die Aufwandsentschädigung für die Versuchspersonen betrug 12 € pro Stunde.

### 5.2.3 Maskierer

Innerhalb der Hauptstudie wurden vier Maskierer verwendet: zwei stationäre (Cafeteria, Olnoise) und zwei modulierte Maskierer (Icra5-250, Dreschler et al., 2001; International Female Fluctuating Masker [IFFM], Holube, 2011). Bei dem Icra5-250 handelt es sich um ein Rauschsignal, das die Modulationseigenschaften eines männlichen Sprechers aufweist, wobei die Sprachpausen auf 250 ms gekürzt wurden. Der IFFM wurde aus dem International Speech Test Signal (ISTS, verwendet in den Pilotstudien) generiert. Dabei wurde die Pausendauer ebenfalls auf maximal 250 ms verkürzt, und die Sprachsegmente wurden neu angeordnet. Für einen besseren Vergleich der Maskierer sind die Spektrogramme in Abb. 5-2 und 5-3 dargestellt.

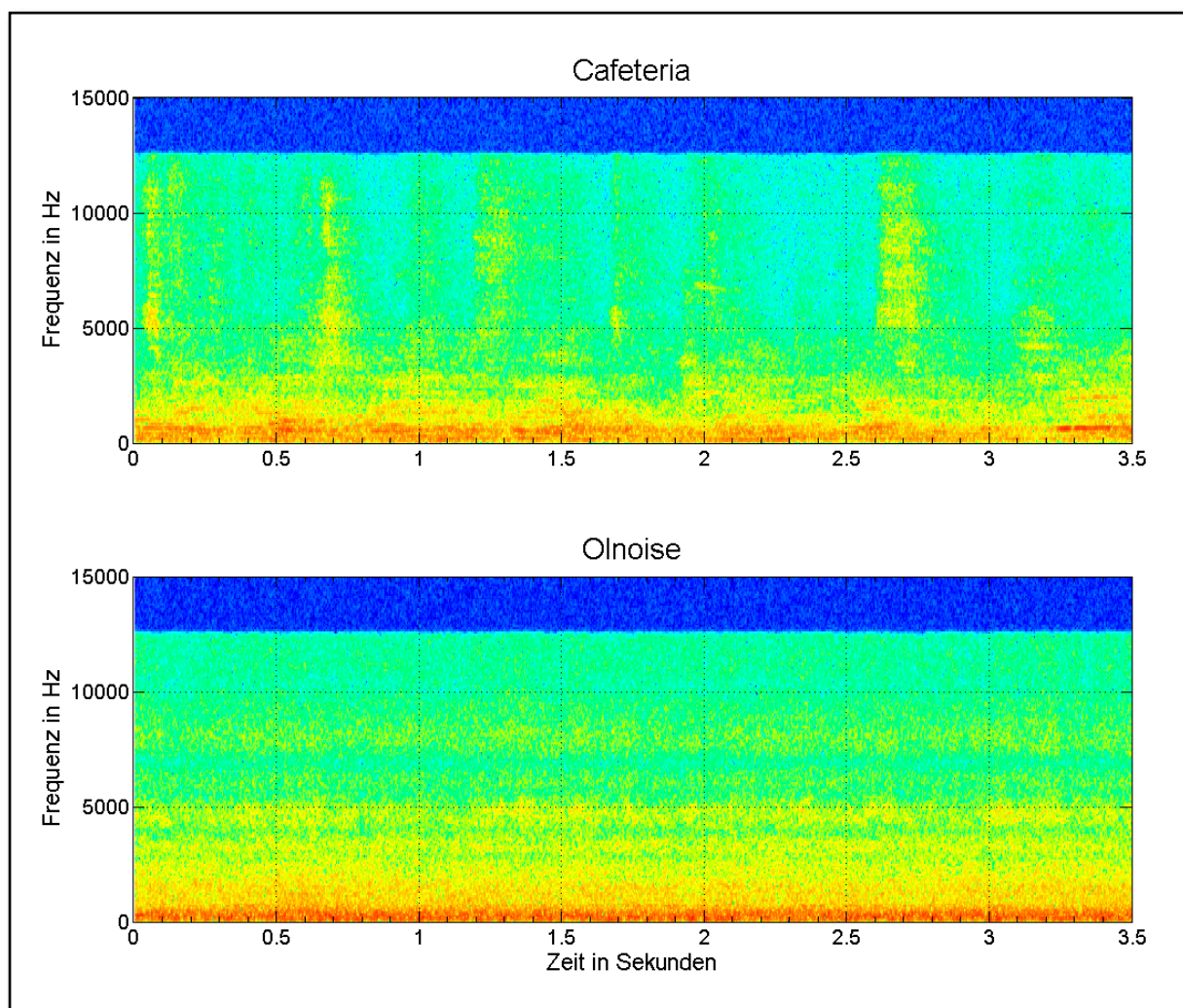


Abb. 5-2: Spektrogramme für die Maskierer Cafeteria (oben) und Olnoise (unten). Aufgetragen ist die Frequenz in Hz über die Zeit in Sekunden.

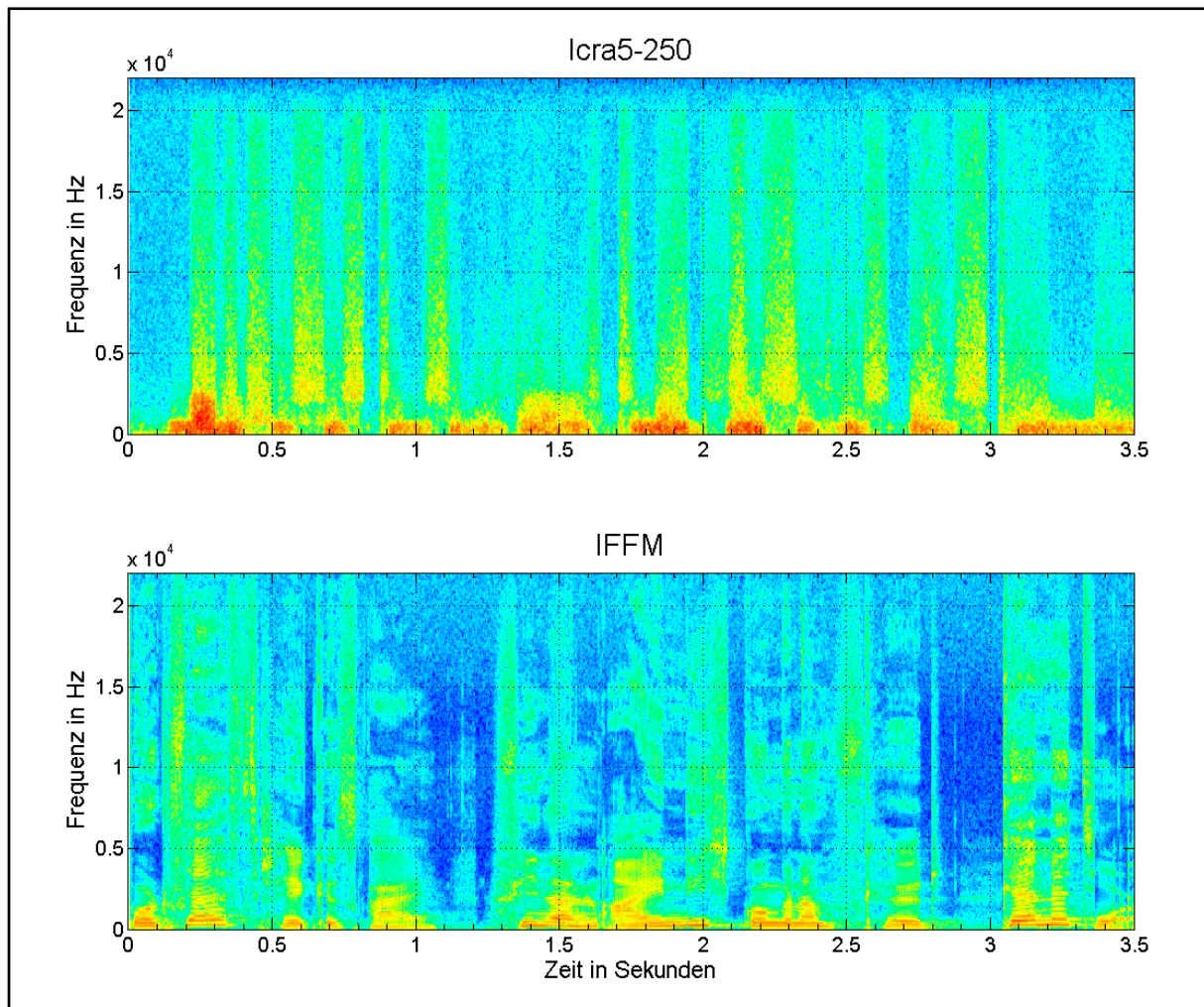


Abb. 5-3: Spektrogramme für die Maskierer *lcra5-250* (oben) und *IFFM* (unten). Aufgetragen ist die Frequenz in Hz über die Zeit in Sekunden.

## 5.2.4 Messablauf

### Normalhörende

Die normalhörenden Versuchspersonen wurden zu drei Terminen in das Hörzentrum Oldenburg eingeladen. An jedem der Termine wurden sowohl die Höranstrengungsmessungen als auch adaptive Sprachverständlichkeitsmessungen durchgeführt (Zusammenfassung des Messablaufs siehe Tabelle 5-1). Die Reihenfolge der Messungen und der Maskierer wurde im Vorfeld randomisiert.



1. Messtermin	2. Messtermin	3. Messtermin
Informationen zur Studie, Einverständniserklärung Tonaudiogramm (LL und UCL)		
Adaptive Sprachverständlichkeitsmessung (SRT und Steigung) für jeden Maskierer	Sprachverständlichkeitsmessung bei festem SNR für zwei Maskierer	Sprachverständlichkeitsmessung bei festem SNR für zwei Maskierer
Höranstrengungsmessung für jeden Maskierer	Höranstrengungsmessung für jeden Maskierer	Höranstrengungsmessung für jeden Maskierer

Tabelle 5-1: Messablauf für die Termine der normalhörenden Versuchspersonen. Die Reihenfolge der Messungen (Höranstrengung und Sprachverständlichkeit) und die Maskierer wurden randomisiert.

Zur Verifizierung der errechneten psychometrischen Funktion wurden zusätzlich Sprachverständlichkeitsmessungen bei festem SNR durchgeführt (siehe Tabelle 5-2). Die dargebotenen festen SNR-Werte wurden aus den psychometrischen Funktionen, die innerhalb der Pilotstudie I ermittelt wurden, abgeleitet.

	70 % SV	80 % SV	90 % SV
Olnoise	-6,0 dB SNR	-5,5 dB SNR	-4,5 dB SNR
Cafeteria	-4,5 dB SNR	-3,5 dB SNR	-2,5 dB SNR
Icra5-250	-14,0 dB SNR	-12,5 dB SNR	-10,0 dB SNR
IFFM	-14,0 dB SNR	-12,5 dB SNR	-10,0 dB SNR

Tabelle 5-2: Auflistung der verwendeten festen SNR-Werte zum Erzielen der jeweiligen Sprachverständlichkeit (SV) für die vier Maskierer

An jedem Messtermin wurde die Höranstrengung für jeden Maskierer ermittelt. Dabei wurde ein Startpegel von 65 dB SPL gewählt. Die Messungen für die normalhörenden Versuchspersonen wurden in einer Blindstudie durchgeführt, um gleichzeitig die schriftliche Instruktion (siehe Anhang, Abb. A6-2) zu überprüfen. Die Blindstudie wurde realisiert, indem die Höranstrengungsmessungen von einer Mitarbeiterin des Hörzentrums Oldenburg durchgeführt wurden, welche im Vorfeld nur die für die Durchführung der Messungen notwendigen Informationen bekam. Vor Beginn der Messungen wurde ein Training zum Kennenlernen der Messmethode durchgeführt. Dabei beinhaltete das Training fünf Bewertungspegel, die denen des realen Testablaufs entsprachen.

### Schwerhörige

Für die schwerhörigen Versuchspersonen wurden zwei Messtermine angesetzt. Dabei wurde an jedem der beiden Messtermine die adaptive Höranstrengungsskalierung mit und ohne Hörgeräte durchgeführt (Startpegel: 75 dB SPL) sowie an jeweils einem Termin das Sprachverstehen mit bzw. ohne Hörgerät ermittelt. Die Reihenfolge der adaptiven Sprachverständlichkeitsmessung (versorgt oder unversorgt am 1. Termin oder 2. Termin), die Reihenfolge der Maskierer für die Sprachmessung sowie die Höranstrengungsmessung und die Messreihenfolge wurden randomisiert (siehe Tabelle 5-3).

Am Anfang der ersten Messung wurde den Versuchspersonen eine schriftliche Instruktion zur Verfügung gestellt (siehe Anhang, Abb. A6-2) und zum Kennenlernen der Messmethode ein Training durchgeführt. Das Training beinhaltete fünf Bewertungspegel, die denen des realen Testablaufs entsprachen. Zusätzlich zu den vorgestellten Messverfahren wurden die Versuchspersonen gebeten, einen Fragebogen auszufüllen. Dabei handelt es sich um den Höranstrengungsfragebogen „Höranstrengung – Fragebogen, International“ nach Schulte et al. (2015) (siehe Anhang B). Die Versuchspersonen haben den Fragebogen in ihrer gewohnten Umgebung und unter Berücksichtigung der Hörgerätebenutzung ausgefüllt.

1. Termin		2. Termin	
Informationen zur Studie, Einverständniserklärung, Tonaudiogramm (LL und UCL)			
Messungen ohne Hörgerät	Messungen mit Hörgerät	Messungen ohne Hörgerät	Messungen mit Hörgerät
Adaptive Sprachverständlichkeitsmessung (SRT und Steigung) für jeden Maskierer*			Adaptive Sprachverständlichkeitsmessung (SRT und Steigung) für jeden Maskierer*
Höranstrengungsmessung für jeden Maskierer	Höranstrengungsmessung für jeden Maskierer	Höranstrengungsmessung für jeden Maskierer	Höranstrengungsmessung für jeden Maskierer

Tabelle 5-3: Messablauf für die Termine der schwerhörenden Versuchspersonen. Die Terminverteilung der versorgten bzw. unversorgten adaptiven Sprachverständlichkeitsmessung wurde randomisiert (markiert mit \*).

### 5.2.5 Höranstrengungsmessungen

Für die Evaluation der adaptiven Höranstrengungsmethode wurden die 14-stufige Skala und ein Start-SNR von 0 dB für die Normalhörenden und +10 dB für die Schwerhörenden verwendet. Während der Messung betrug der Maskiererpegel konstant 65 dB, und der Sprachpegel wurde adaptiv variiert. Als Testmaterial wurden für jede Bewertung drei aufeinanderfolgende Sätze des OLSA dargeboten, wobei der Maskierer 2 s vor der Sprachdarbietung startete. Alle Versuchspersonen erhielten für die Messungen schriftliche Instruktionen, und zu Beginn der jeweiligen Messung fand ein Training statt. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, sich das Testmaterial anzuhören und anschließend die wahrgenommene Höranstrengung mit Hilfe der Skala anzugeben (Instruktion siehe Anhang, Abb. A6-2).

### 5.2.6 Statistische Analyse

Für die statistische Auswertung der erhobenen Messergebnisse wurde die Software SPSS verwendet. Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte, dass die Mehrheit der Daten normalverteilt ist. Dies ermöglicht die Verwendung der ANOVA für Messwiederholungen und den

t-Test für abhängige Stichproben als Post-hoc-Test. Als Signifikanzniveau wurde  $\alpha = 0,05$  gewählt, wobei dies für die Post-hoc-Tests Bonferroni-korrigiert wurde.

Für die statistische Analyse der Höranstrengung wurden die Werte für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“ verwendet. Diese Kategorien beschreiben sowohl die Bewertungsgrenzen als auch den Bereich der mittleren Anstrengung.

## 5.3 Ergebnisse

### 5.3.1 Sprachverstehen

#### Normalhörende

In der Hauptstudie wurden vier verschiedene Maskierer getestet und für jeden von ihnen der SRT ermittelt (siehe Abb. 5-4).

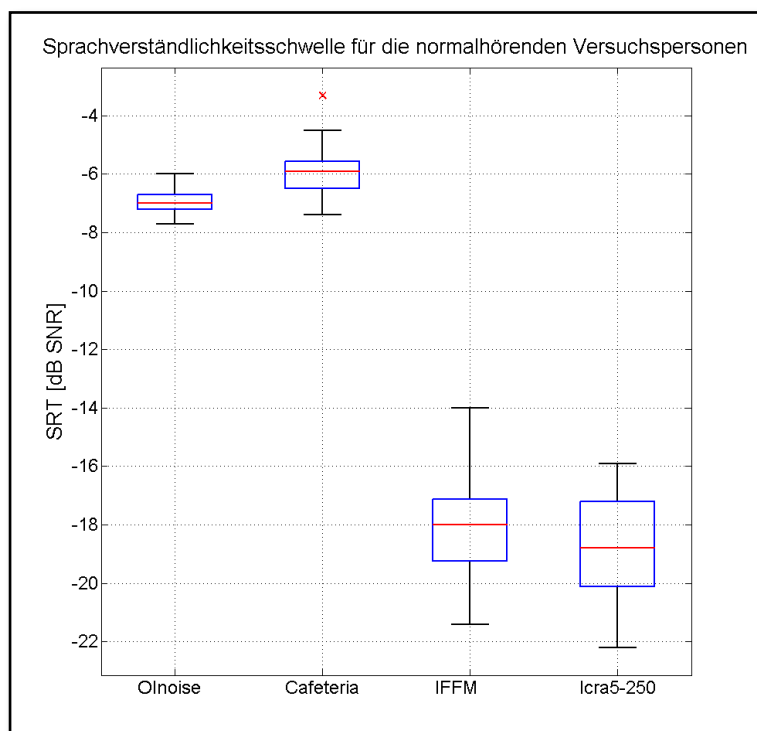


Abb. 5-4: Sprachverständlichkeitsschwellen für die vier Maskierer ermittelt mit dem OLSA für die normalhörenden Versuchspersonen. Dabei ist die Sprachverständlichkeit als SRT in dB SNR aufgetragen.

Der erste Boxplot von links beinhaltet die Ergebnisse für das Olnoise. Es lässt sich erkennen, dass die Streuung der Werte sehr gering ist. Im Vergleich dazu ist die Streuung des Cafeteria-Maskierers größer. Zusätzlich ist ein Ausreißer bei -3,3 dB SNR zu erkennen. Bei dem dritten Maskierer handelt es sich um den IFFM. Wie auf den ersten Blick zu erkennen, ist die Streuung bei diesem und beim Icras-250 größer als beim Olnoise- und Cafeteria-Maskierer. Die jeweiligen Mediane für den IFFM- und Icras-250-Maskierer liegen sehr dicht beieinander. Insgesamt konnte mit Hilfe der ANOVA ein signifikanter Effekt der Maskierer (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,706$ ,  $F(2,117) = 512,050$ ,  $p = 0,000$ ) festgestellt werden. Die

Post-hoc-Tests zeigten, dass nur zwischen den Ergebnissen der Sprachverständlichkeit für IFFM und Ica5-250 kein signifikanter Unterschied vorliegt. Bei den anderen Maskierern ist dieser Unterschied hochsignifikant (siehe Tabelle 5-4).

	Olnoise	IFFM	Cafeteria	Ica5-250
Olnoise	---	,000**	,000**	,000**
IFFM	---	---	,000**	,249
Cafeteria	---	---	---	,000**
Ica5-250	---	---	---	---

Tabelle 5-4: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für die Sprachverständlichkeit. Das Signifikanzniveau wurde mit der Bonferroni-Korrektur für vier Paarvergleiche angepasst: \*signifikant ( $\alpha = 0,0125$ ), \*\*hochsignifikant ( $\alpha = 0,0025$ ).

In der Hauptstudie wurden zusätzlich zu den adaptiven Sprachverständlichkeitsmessungen Sprachmessungen bei festen SNR-Werten durchgeführt. Dabei wurden die zu testenden SNR-Werte so ausgewählt, dass eine Sprachverständlichkeit von 70, 80 oder 90 % erzielt wird. In Tabelle 5-5 sind die verwendeten SNR-Werte sowie die bei diesen Pegeln erzielte Sprachverständlichkeit zusammengetragen.

	Gewünschte 70 % SV		Gewünschte 80 % SV		Gewünschte 90 % SV	
Olnoise	-6,0 dB SNR	79,8 %	-5,5 dB SNR	80,5 %	-4,5 dB SNR	90,0 %
Cafeteria	-4,5 dB SNR	83,4 %	-3,5 dB SNR	87,9 %	-2,5 dB SNR	93,7 %
Ica5-250	-14,0 dB SNR	80,5 %	-12,5 dB SNR	86,5 %	-10,0 dB SNR	90,9 %
IFFM	-14,0 dB SNR	80,9 %	-12,5 dB SNR	84,9 %	-10,0 dB SNR	92,0 %

Tabelle 5-5: Übersicht der verwendeten festen SNR-Werte und der damit erzielten Sprachverständlichkeit für die vier Maskierer (Mediane)

Dabei wird deutlich, dass die vorgegebenen SNR-Werte nur für die gewünschte Sprachverständlichkeit von 90 % passend gewählt wurden. Bei den anderen gewünschten Sprachverständlichkeiten (70 und 80 %) wurden die SNR-Werte zu gut gewählt, sodass die Sprachverständlichkeit besser ausfällt. Erwähnenswert ist dabei jedoch, dass diese Fehleinschätzung für alle vier Maskierer zutrifft. Nur für das Olnoise wurde der SNR-Wert für eine Sprachverständlichkeit von 80 % mit -5,5 dB SNR richtig gewählt.

Nennenswert ist des Weiteren, dass die Streuung für das erzielte Sprachverstehen bei 70 % am größten ist und mit zunehmender Sprachverständlichkeit abnimmt. Die dazugehörigen Abbildungen sind im Anhang in Abb. D6-12 bis D6-15 dargestellt. In Abb. 5-5 ist die geschätzte psychometrische Funktion über alle Versuchspersonen sowie die ermittelte Sprachverständlichkeit (Median) bei festen SNR-Werten dargestellt. Dabei wird deutlich, dass die geschätzte Sprachverständlichkeit im Vergleich zur gemessenen unterschätzt wird, d. h. dass das erzielte Sprachverstehen bei festen SNR-Werten für alle Maskierer besser ist als erwartet. Dabei ist der Abstand zwischen der geschätzten Funktion und den erzielten Messwerten für den Maskierer Olnoise am geringsten.



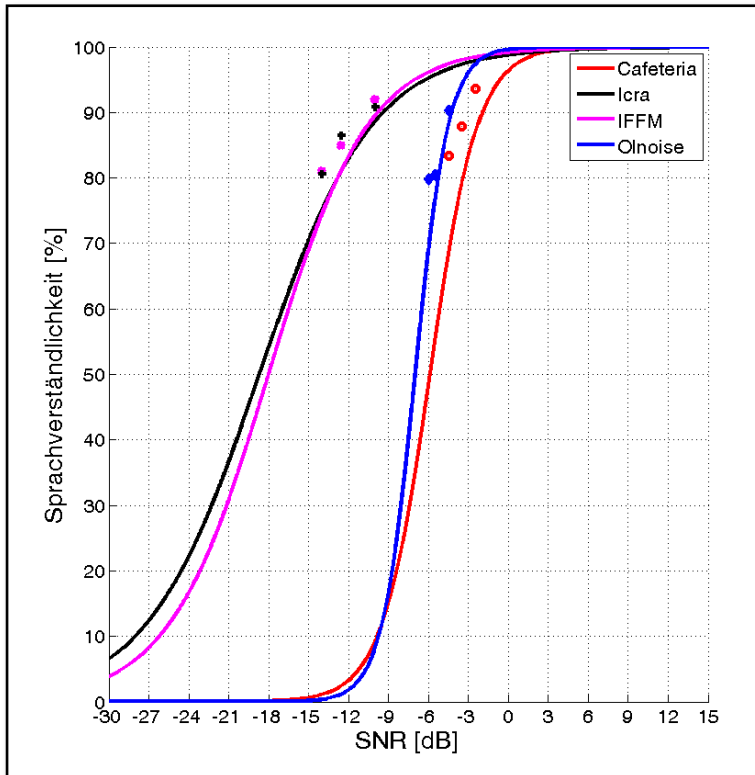


Abb. 5-5: Vergleich der geschätzten psychometrischen Funktion und der erzielten Sprachverständlichkeit bei festen SNR-Werten. Aufgetragen ist die Sprachverständlichkeit in % über den SNR in dB.

### Schwerhörrende

Die SRTs wurden für die Schwerhörrenden mit den eigenen Hörgeräten sowie unversorgt ermittelt. In Abb. 5-6 sind die zugehörigen Ergebnisse für die vier Maskierer dargestellt. Dabei sind für jeden Maskierer die Ergebnisse unversorgt (links) und versorgt (rechts) gegenübergestellt.

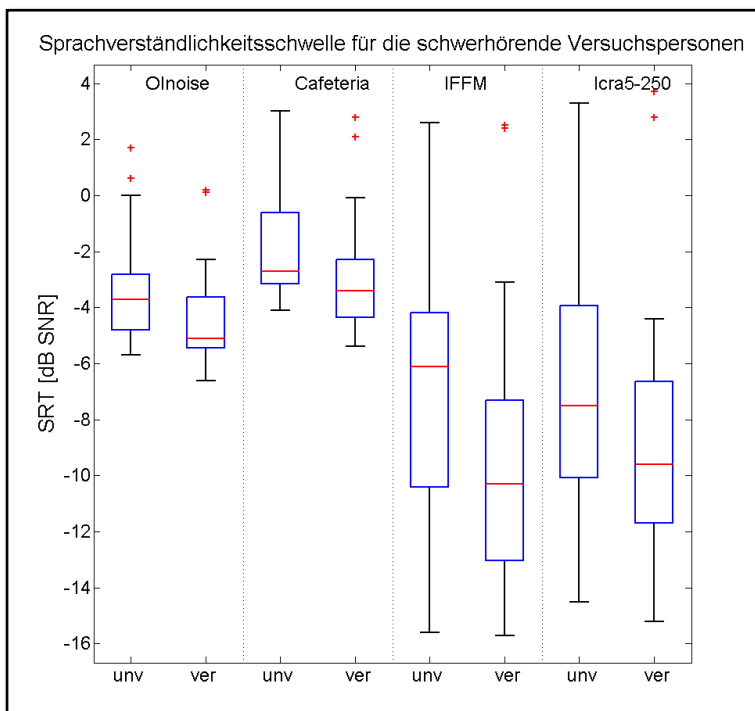


Abb. 5-6: Sprachverständlichkeitsschwellen für die vier Maskierer ermittelt mit dem OLSA für die schwerhörigen Versuchspersonen. „unv“ steht für Messungen ohne Hörgeräte, „ver“ für die Ergebnisse mit Hörgeräten. Dabei ist die Sprachverständlichkeit als SRT in dB SNR aufgetragen.

In der ersten Spalte von links sind die Ergebnisse für das Olnoise dargestellt. Dabei fällt auf, dass die Streuung der Messergebnisse für die unversorgte Messung (linker Boxplot) größer ist als bei der versorgten Messung (rechter Boxplot). Des Weiteren wird deutlich, dass die SRTs für die versorgten Messungen bei geringeren SNRs liegen und damit die Versuchspersonen bessere Ergebnisse erzielen als unversorgt. Ähnliche Ergebnisse lassen sich auch für den Cafeteria-Maskierer erkennen. Die SRTs für Messungen mit Hörgeräten sind besser als ohne Hörgeräte. Die Streuung bei der Verwendung von Hörgeräten ist ebenfalls geringer. Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich die SRTs beim Olnoise- und Cafeteria-Maskierer im Bereich von 3 dB SNR und -6,6 dB SNR befinden. Im Vergleich dazu liegt der Bereich für den IFFM- und Icara5-250-Maskierer zwischen 3,3 dB SNR und -15,6 dB SNR und ist damit 3,5-fach so groß wie der Bereich für den Olnoise- und Cafeteria-Maskierer. Auch beim IFFM und Icara5-250 fällt beim Vergleich der SRTs auf, dass die Schwellen bei den versorgten Messungen besser sind als für die unversorgte Hörsituation. Die ANOVA für Messwiederholungen bestätigte die Erkenntnis. Ein signifikanter Effekt der Maskierer (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,398$ ,  $F(1,193) = 23,849$ ,  $p = 0,000$ ), des Versorgungsstatus ( $F(1) = 29,444$ ,  $p = 0,000$ ) und eine Interaktion zwischen Maskierern und Versorgungsstatus (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,716$ ,  $F(2,149) = 4,749$ ,  $p = 0,014$ ) konnten gefunden werden. Die Ergebnisse der Post-hoc-t-Tests sind in der Tabelle 5-6 und Tabelle 5-7 zusammengetragen. Die Tabelle 5-6 beinhaltet die Ergebnisse der Paarvergleiche für „versorgt“ und „unversorgt“. Es zeigt sich, dass die Unterschiede für jeden Maskierer zwischen „versorgt“ und „unversorgt“ hochsignifikant sind.

Maskierer	Vergleich „unversorgt“ gegen „versorgt“
Olnoise	,000**
IFFM	,000**
Cafeteria	,002**
Icara5-250	,004*

Tabelle 5-6: Ergebnisse der Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für den Vergleich der „versorgten“ und „unversorgten“ Messung für den jeweiligen Maskierer. Das Signifikanzniveau wurde mit der Bonferroni-Korrektur für vier Paarvergleiche angepasst: \*signifikant ( $\alpha = 0,0125$ ), \*\*hochsignifikant ( $\alpha = 0,0025$ ).

		unversorgt			
unversorgt		Olnoise	IFFM	Cafeteria	Icra5-250
	Olnoise	---	,005*	,000**	,010*
	IFFM	---	---	,000**	1,000
	Cafeteria	---	---	---	,001**
	Icra5-250	---	---	---	---
		versorgt			
versorgt		Olnoise	IFFM	Cafeteria	Icra5-250
	Olnoise	---	,000**	,000**	,001**
	IFFM	---	---	,000**	,306
	Cafeteria	---	---	---	,000**
	Icra5-250	---	---	---	---

Tabelle 5-7: Ergebnisse der Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für den Vergleich der Maskierer in der „versorgten“ und „unversorgten“ Messbedingung. Das Signifikanzniveau wurde mit der Bonferroni-Korrektur für vier Paarvergleichen angepasst: \*signifikant ( $\alpha = 0,0125$ ), \*\*hochsignifikant ( $\alpha = 0,0025$ ).

Auch der mit verschiedenen Maskierern ermittelte Vergleich der SRTs weist signifikante bzw. hochsignifikante Unterschiede (siehe Tabelle 5-7) auf. Es zeigt sich, dass diese Unterschiede bei den versorgten Messungen sogar höhere Signifikanzen aufzeigen als bei den unversorgten Ergebnissen.

## 5.3.2 Adaptive Höranstrengungsskalierung

### 5.3.2.1 Normalhörende

Die Messungen der Höranstrengung wurden in einer Blindstudie durchgeführt. Demnach bekamen die Versuchspersonen neben der schriftlichen Instruktion keine bis wenige zusätzliche Informationen durch den Versuchsleiter. Dadurch konnte beobachtet werden, dass alle Versuchspersonen anhand der schriftlichen Anleitung die Messungen durchführen konnten und keine zusätzlichen Hilfestellungen benötigten.

### Vergleich der Maskierer

Die subjektive Höranstrengung wurde für die vier Maskierer (Olnoise, Cafeteria, IFFM und Icra5-250) mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften ermittelt. Bei der Betrachtung der Ergebnisse des ersten Messtermins in Abb. 5-7 wird deutlich, dass die wahrgenommene Höranstrengung für das jeweilige Rauschen in zwei Gruppen (erste Gruppe: IFFM und Icra5-250, zweite Gruppe: Olnoise und Cafeteria) unterteilt werden kann. Die Maskierer jeder Gruppe werden als ähnlich anstrengend bewertet, und die Regressionsgeraden verlaufen annähernd parallel. Des Weiteren liegen die Regressionsgeraden der ersten Gruppe im Vergleich zu denen der zweiten Gruppe bei niedrigeren SNR-Werten. Demzufolge wird der gleiche SNR-Wert bei Gruppe 1 als weniger anstrengend empfunden als bei

Gruppe 2. Besonders deutlich wird dies im Bereich von „extrem anstrengend“. Zwischen den Rauschgruppen liegt in diesem Bereich ein Unterschied von ca. 10 dB. Je weniger anstrengend die Rauscharten hingegen bewertet wurden, desto mehr nähern sich die Regressionsgeraden an, sodass die Bewertungen für die Kategorie „mühe los“ in einem SNR-Bereich von ca. 2 dB liegen. Innerhalb der Gruppen ist zu beobachten, dass bei gleichem SNR der IFFM als weniger anstrengend bewertet wird als Ica5-250. Ähnliche Ergebnisse sind für den Cafeteria-/Olnoise-Maskierer erkennbar. Die Regressionsgeraden verlaufen parallel, was darauf hindeutet, dass die Höranstrengung bei gleichem SNR für den Cafeteria-Maskierer als anstrengender bewertet wurde als für das Olnoise.

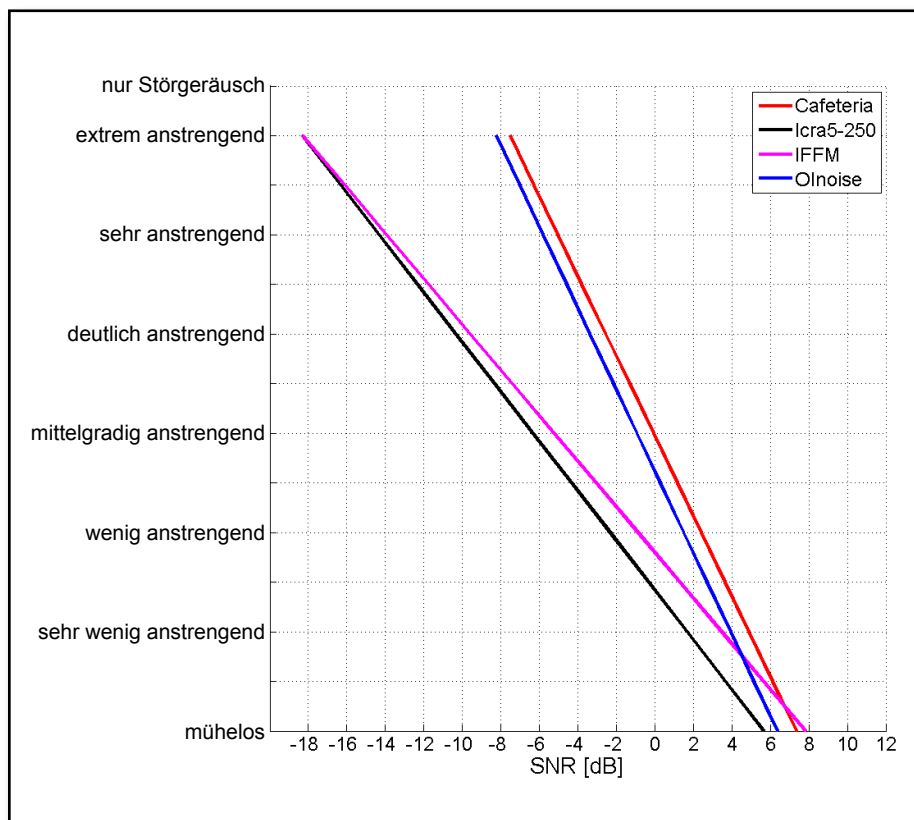


Abb. 5-7: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die vier Maskierer während des ersten Messtermins

Ähnliche Erkenntnisse konnten beim Vergleich der Ergebnisse für die unterschiedlichen Maskierer, die im zweiten bzw. dritten Termin gemessen wurden (Anhang Abb. D6-16 und D6-17), gefunden werden. Die ANOVA für Messwiederholungen bestätigte die Beobachtung. Es wurde ein signifikanter Effekt der Maskierer (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,526$ ,  $F(1,578) = 56,1$ ,  $p = 0,000$ ) und eine Interaktion zwischen Maskierern und Bewertungskategorien der Höranstrengung (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,526$ ,  $F(2,04) = 130,57$ ,  $p = 0,000$ ) gefunden (siehe detaillierte Aufstellung in Anhang D5). Für die weitere Analyse wurden Post-hoc-Tests unter Berücksichtigung der Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-8 zusammengefasst. Dabei wird ersichtlich, dass die Ergebnisse der ersten Gruppe signifikant unterschiedlich zu den Ergebnissen der zweiten Gruppe sind. Innerhalb der jeweiligen Gruppen sind keine signifikanten Unterschiede feststellbar.

	Gruppe 1		Gruppe 2	
	IFFM	Icra5-250	Olnoise	Cafeteria
IFFM	---	1,000	,000	,000
Icra5-250	---	---	,000	,000
Olnoise	---	---	---	1,000
Cafeteria	---	---	---	---

Tabelle 5-8: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für den Vergleich der Maskierer. Das Signifikanzniveau wurde mit der Bonferroni-Korrektur für vier Paarvergleichen angepasst: \*signifikant ( $\alpha = 0,0125$ ), \*\*hochsignifikant ( $\alpha = 0,0025$ ).

### Vergleich der Messtermine

Die normalhörenden Versuchspersonen führten die Höranstrengungsmessungen insgesamt an drei Terminen durch. In Abb. 5-8 sind die Ergebnisse dieser drei Termine für den Cafeteria- und IFFM-Maskierer dargestellt. Dabei fällt auf den ersten Blick auf, dass die Regressionsgeraden des Cafeteria-Maskierers sehr dicht beieinanderliegen. Bei der Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ und „mühelos“ beträgt der SNR-Abstand ca. 0,5 dB. Die Ergebnisse des IFFM-Maskierers weisen größere Abstände auf. Bei „extrem anstrengend“ beträgt dieser ca. 1,5 dB und bei „mühelos“ ca. 2 dB. Ähnliche Ergebnisse wie beim Cafeteria- und IFFM-Maskierer konnten beim Olnoise- und Icra5-250-Maskierer festgestellt werden (siehe Abb. 5-9). Die Regressionsgeraden ermittelt für das Olnoise weisen, ähnlich wie beim Icra5-250 (maximaler Abstand: ca. 1,0 dB), einen maximalen Abstand von ca. 1,5 dB auf.

Die statistische Analyse der Ergebnisse mittels ANOVA für Messwiederholungen konnte keinen signifikanten Effekt der Termine ( $F(2) = 0,416$ ,  $p = 0,664$ ) und keine Interaktion zwischen Termin und Höranstrengung (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,671$ ,  $F(1,112) = 0,431$ ,  $p = 0,543$ ) zeigen (siehe detaillierte Aufstellung in Anhang D5). Zusätzlich wird nachfolgend die Test-Retest-Reliabilität untersucht.

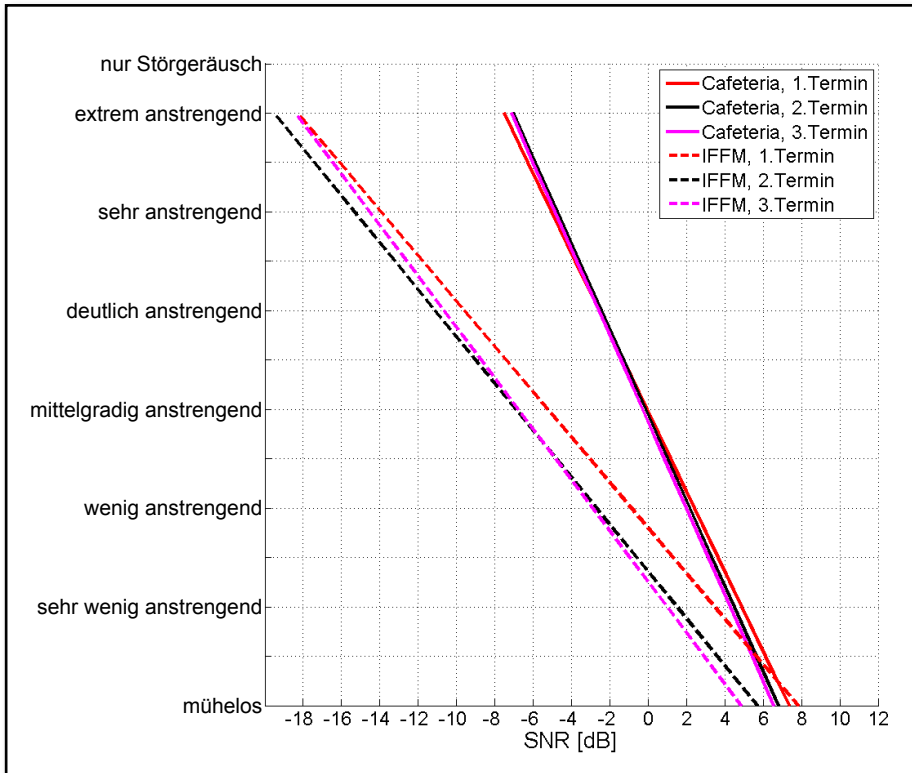


Abb. 5-8: Vergleich der subjektiven Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die Maskierer Cafeteria (durchgezogene Linien) und IFFM (gestrichelte Linien) während der drei Messtermine

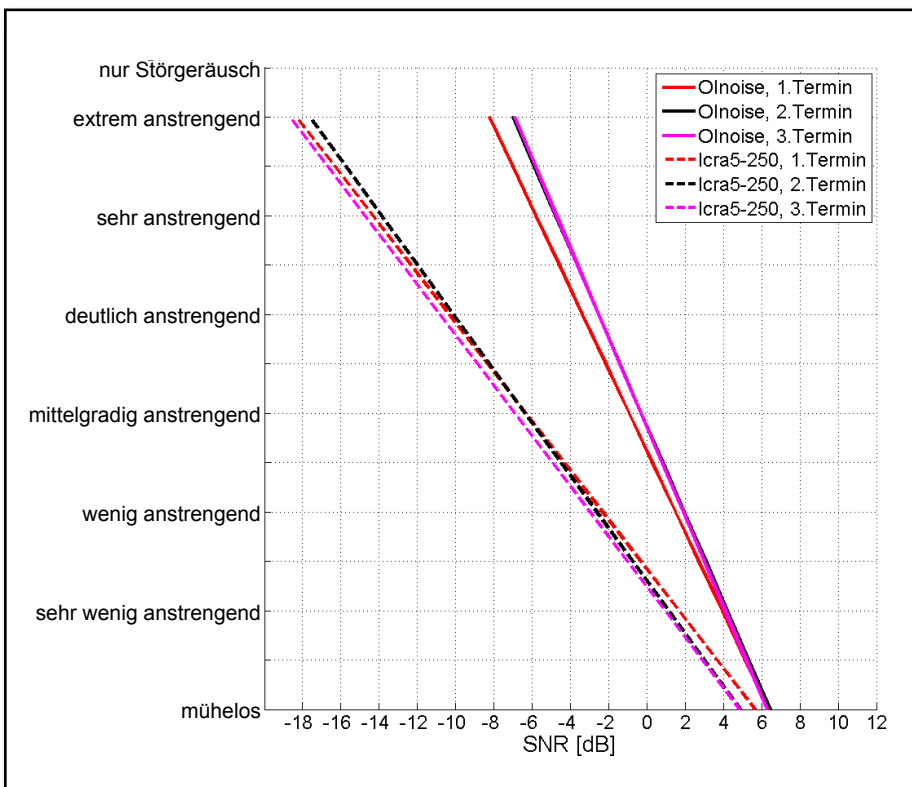


Abb. 5-9: Vergleich der subjektiven Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die Maskierer Olnoise (durchgezogene Linien) und Icras5-250 (gestrichelte Linien) während der drei Messtermine

## Test-Retest-Reliabilität

Ein wichtiger Teil der Evaluation einer neuen Messmethode ist die Test-Retest-Reliabilität. Für diesen Zweck werden Test- und Retest-Ergebnisse grafisch dargestellt. Beispielhaft wurden in Abb. 5-10 die Ergebnisse des ersten Messtermins über die Ergebnisse des dritten Messtermins, gemessen für den Icras5-250-Maskierer, aufgetragen. Die Diagonale stellt dabei eine optimale Korrelation zwischen den Messwerten dar. Wie zu erkennen ist, liegen die Messwerte für die Bewertungskategorien dicht an der Diagonalen. Es fällt bei der genaueren Betrachtung jedoch auch auf, dass einzelne Messwerte stark von der Diagonalen abweichen. Eine Versuchsperson hat zum Beispiel in der Test-Situation, d. h. im ersten Termin, die Bewertungskategorie „mühe los“ bei einem SNR-Wert von ca. 19 dB verwendet, wohingegen der SNR-Wert in der Retest-Situation bei ca. 7 dB lag.

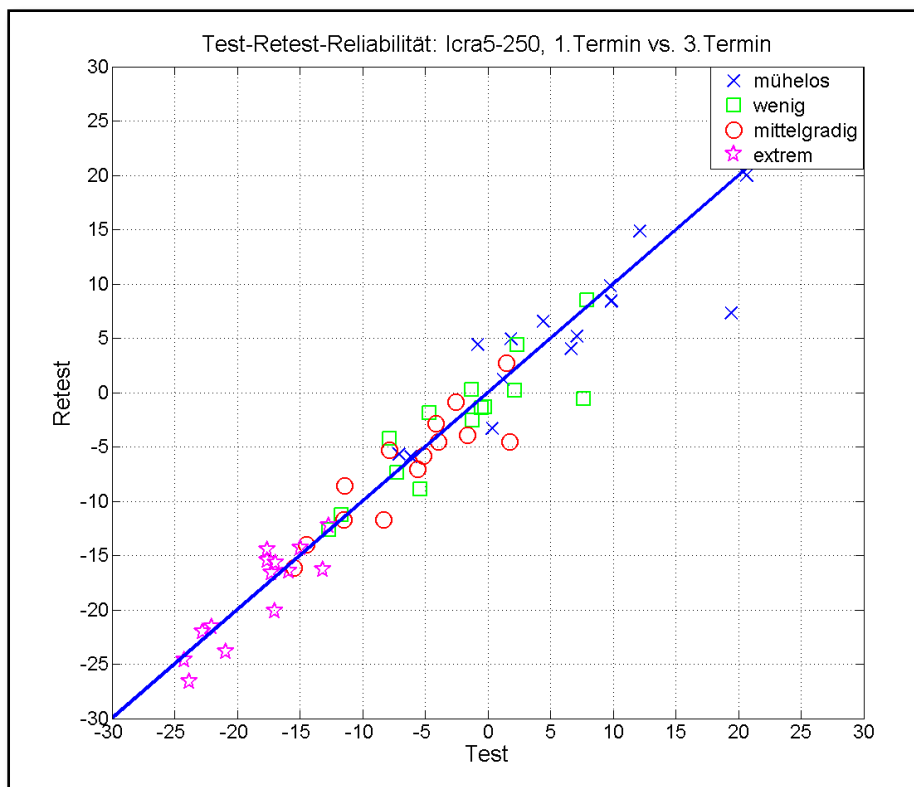


Abb. 5-10: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und dritten Termins für den Icras5-250-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „mühe los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

Um eine bessere Aussage über die Test-Retest-Reliabilität treffen zu können, wurde für jede Bewertungskategorie die Pearson-Korrelation zwischen den Terminen ermittelt. Die Ergebnisse für die Bewertungskategorie „mühe los“ weisen in der Abb. 5-10 die am weitesten auseinanderliegenden Werte auf und wurden deshalb in der Tabelle 5-9 genauer betrachtet. Die Korrelation wurde für jeden Maskierer berechnet. Dabei ist zu erkennen, dass die Pearson-Korrelation zwischen den Terminen sehr hoch ist, d. h. es besteht eine sehr hohe positive Beziehung zwischen den gemessenen Höranstrengungsergebnissen. Bei 20 der 24 Fälle ist die Pearson-Korrelation  $r \geq 0,750$ , und alle Korrelationen sind signifikant ( $\alpha = 0,05$ ) bzw. hochsignifikant ( $\alpha = 0,01$ ).

		1. Termin Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. lcra5-250 mühelos	2. Termin Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. lcra5-250 mühelos	3. Termin Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. lcra5-250 mühelos
1. Termin Olnoise mühelos	Pearson-Korrelation	1	,887**	,776**
	Sig. (2-seitig)	---	,000	,001
2. Termin Olnoise mühelos	Pearson-Korrelation	,887**	1	,956**
	Sig. (2-seitig)	,000	---	,000
3. Termin Olnoise mühelos	Pearson-Korrelation	,776**	,956**	1
	Sig. (2-seitig)	,001	,000	---
1. Termin Cafeteria mühelos	Pearson-Korrelation	1	,674**	,658*
	Sig. (2-seitig)	---	,008	,010
2. Termin Cafeteria mühelos	Pearson-Korrelation	,674**	1	,887**
	Sig. (2-seitig)	,008	---	,000
3. Termin Cafeteria mühelos	Pearson-Korrelation	,658*	,887**	1
	Sig. (2-seitig)	,010	,000	---
1. Termin IFFM mühelos	Pearson-Korrelation	1	,813**	,811**
	Sig. (2-seitig)	---	,000	,000
2. Termin IFFM mühelos	Pearson-Korrelation	,813**	1	,871**
	Sig. (2-seitig)	,000	---	,000
3. Termin IFFM mühelos	Pearson-Korrelation	,811**	,871**	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	---
1. Termin lcra5-250 mühelos	Pearson-Korrelation	1	,758**	,870**
	Sig. (2-seitig)	---	,002	,000
2. Termin lcra5-250 mühelos	Pearson-Korrelation	,758**	1	,931**
	Sig. (2-seitig)	,002	---	,000
3. Termin lcra5-250 mühelos	Pearson-Korrelation	,870**	,931**	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	---

Tabelle 5-9: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorie „mühelos“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität. Die Korrelationen wurden für den Vergleich der jeweiligen Maskierer berechnet und sind bei einem Niveau von  $\alpha = 0,05$  (\*) signifikant und bei einem Niveau von  $\alpha = 0,01$  (\*\*) hochsignifikant.



Die Korrelationsergebnisse für die Bewertungskategorien „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“ sind in den Tabellen (Tabelle 10-1, Tabelle 10-2 und Tabelle 10-3) im Anhang zu finden. Die Bewertungskategorie „wenig anstrengend“ weist besonders hohe Pearson-Korrelationswerte (bis zu  $r = 0,935$ ) auf. In dieser Kategorie sind alle Korrelationen hochsignifikant. Auffällig ist die Bewertungskategorie „extrem anstrengend“. Zwischen dem ersten und zweiten Termin bzw. dem ersten und dritten Termin wurde für die Maskierer Olnoise und Cafeteria ein Pearson-Korrelationswert von  $r = 0,418$  (Olnoise-Maskierer) /  $r = 0,411$  (Cafeteria-Maskierer) zwischen dem ersten und zweiten Termin bzw.  $r = 0,472$  /  $r = 0,199$  zwischen dem ersten und dritten Termin ermittelt. In diesen Messsituationen wird demnach nur ein geringer linearer Zusammenhang erkennbar. Erwähnenswert ist jedoch, dass die Korrelation zwischen dem zweiten und dritten Termin einen Wert von  $r = 0,677$  (Olnoise-Maskierer) /  $r = 0,748$  (Cafeteria-Maskierer) hat und damit auf eine hochsignifikante Korrelation hinweist. Dieses Ergebnis bestätigt sich auch für den IFFM- Maskierer. Zwar zeigen die ersten und zweiten bzw. ersten und dritten Termine signifikante Korrelationen ( $r = 0,599$  bzw.  $r = 0,689$ ), aber der Korrelationswert zwischen dem zweiten und dritten Termin ist mit  $r = 0,832$  deutlich höher und hochsignifikant. Beim Ica5-250-Maskierer ist die Pearson-Korrelation für alle Kombinationen  $r \geq 0,821$  und damit ebenfalls hochsignifikant.

### Vergleich Höranstrengung und Sprachverständlichkeit

Zusätzlich zur subjektiven Höranstrengung wurde die Sprachverständlichkeit für die verschiedenen Maskierer ermittelt. Mit Hilfe der über alle Versuchspersonen gemittelten Werte für SRT und Steigung konnte die gemittelte psychometrische Sprachverständlichkeitsfunktion berechnet werden (siehe Kapitel 3.3.1 und Formel (1)). Diese ist zusammen mit der ermittelten subjektiven Höranstrengung in Abb. 5-11 dargestellt. Wie schon bei der Höranstrengung sind auch in der Sprachverständlichkeit die Unterschiede zwischen den Maskierern erkennbar. Bei der Betrachtung der Höranstrengung konnte festgestellt werden, dass die Maskierer in zwei Gruppierungen unterteilt werden können. Diese Unterschiede zwischen den Maskierern IFFM/Ica5-250 und Olnoise/Cafeteria sind auch in der Sprachverständlichkeit zu beobachten. Die Sprachverständlichkeit für IFFM und Ica5-250 weist einen ähnlichen Verlauf auf, wobei die Sprachverständlichkeit für Ica5-250 marginal besser ist als für IFFM. Ähnliche Ergebnisse lassen sich beim Olnoise und Cafeteria-Rauschen festhalten. Bei gleichem SNR ist die Sprachverständlichkeit im Olnoise höher als beim Cafeteria-Maskierer. Auffällig sind die Schnittpunkte der Höranstrengungs-Regressionsgeraden mit den psychometrischen Funktionen. Diese Schnittpunkte liegen bei einem Sprachverstehen von ca. 80 %. Dabei wird dieses Sprachverstehen als „sehr anstrengend“ empfunden. Des Weiteren wird deutlich, dass sich für alle Maskierer auch bei einem Sprachverstehen von 100 % die wahrgenommene Höranstrengung weiter reduziert.

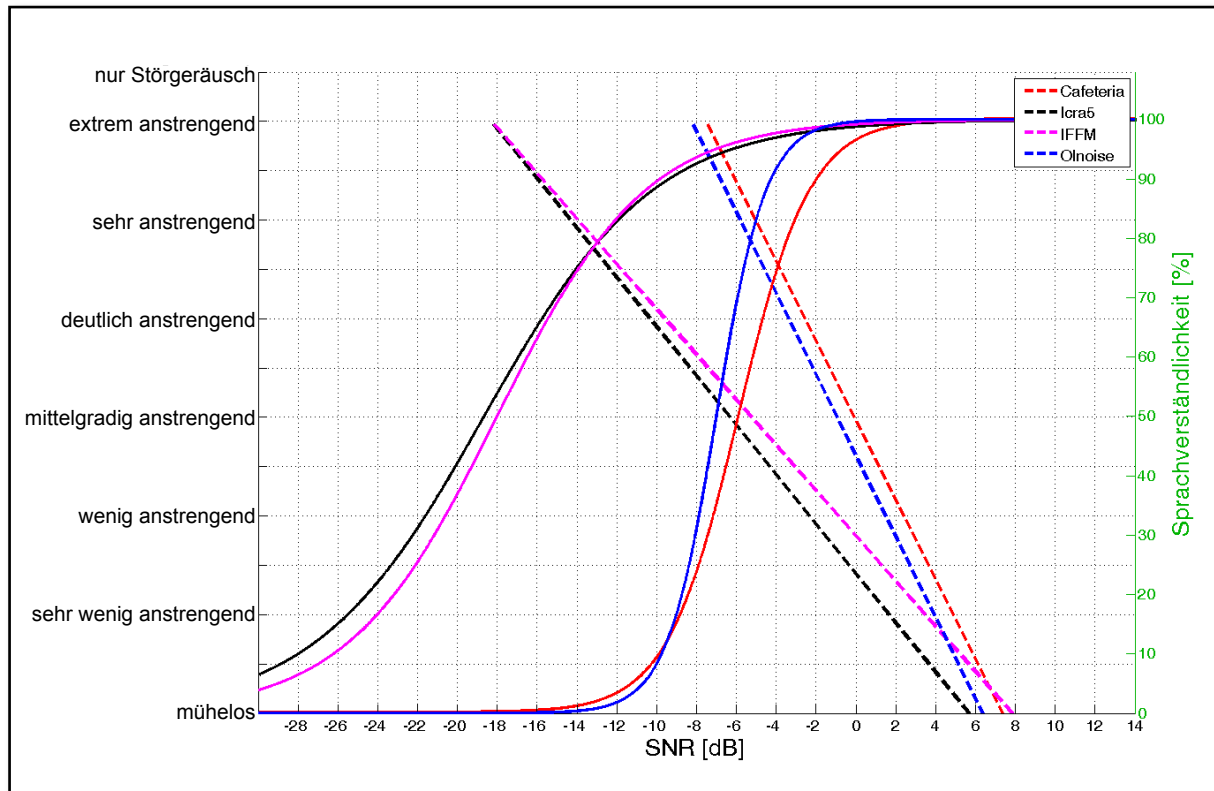


Abb. 5-11: Darstellung der über alle Versuchspersonen gemittelten psychometrischen Sprachverständlichkeitsfunktion (durchgezogene Linien) sowie der ermittelten subjektiven Höranstrengung (gestrichelte Linien) für verschiedene Maskierer

In Abb. 5-11 sind die berechnete psychometrische Sprachverständlichkeitsfunktion sowie die ermittelte subjektive Höranstrengung dargestellt. Wie bereits in Abschnitt 5.3.1 erläutert, stimmt die theoretische psychometrische Funktion im Bereich der Sprachverständlichkeit von 70, 80 und 90 % nicht mit den gemessenen Werten überein. Abb. 5-12 zeigt die berechnete psychometrische Funktion, die wahrgenommene Höranstrengung sowie das gemessene Sprachverstehen. Es lässt sich beobachten, dass sich die Schnittpunkte zwischen der Sprachverständlichkeit und der Höranstrengung für die gemessenen Werte verschieben. Beim Cafeteria-Maskierer liegt dieser, ermittelt mit der berechneten Sprachverständlichkeitsfunktion, bei ca. 75 %, im Vergleich dazu mit der gemessenen Sprachverständlichkeit bei ca. 80 %. Eine ähnliche Verschiebung der Schnittpunkte ist für Ica5-250 und IFFM zu erkennen. Lediglich beim Olnoise-Maskierer bleiben diese nahezu identisch.

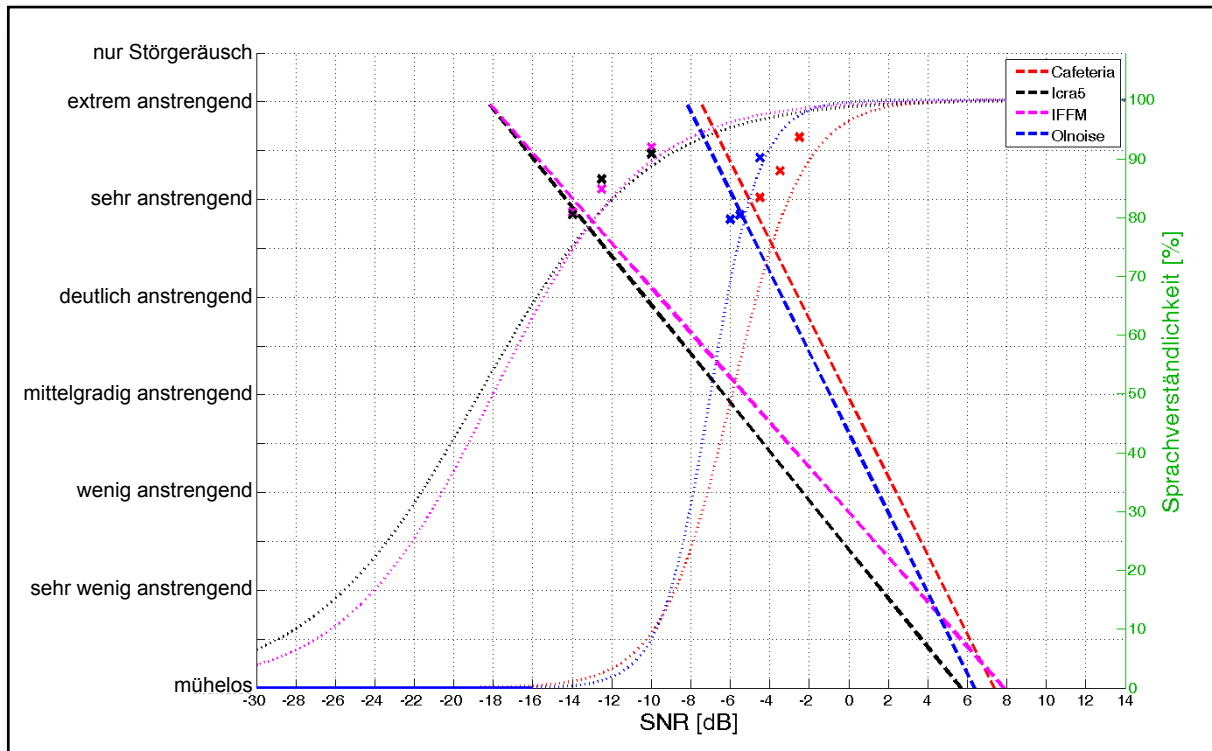


Abb. 5-12: Darstellung der über alle Versuchspersonen gemittelten psychometrischen Sprachverständlichkeitsfunktion (fein gestrichelte Linien), der gemessenen Sprachverständlichkeit (Kreuze) sowie der ermittelten subjektiven Höranstrengung (gestrichelte Linien) für verschiedene Maskierer

Erwähnenswert ist auch die subjektive Höranstrengung aufgetragen über der Sprachverständlichkeit (siehe Abb. 5-13). Dabei wird nochmals deutlich, dass sich trotz einer Sprachverständlichkeit von 100 % die wahrgenommene Höranstrengung weiter verändert. Interessant ist, dass die fluktuierenden Maskierer bei gleicher Sprachverständlichkeit gegenüber den stationären Maskierern bis zu einer Sprachverständlichkeit von 70 % als anstrengender wahrgenommen werden. Ab einem Wert von 80 % hingegen ist die Höranstrengung für das Olnoise am höchsten. Im Vergleich dazu ist erwähnenswert, dass ab einer Sprachverständlichkeit von ca. 92 % das Ica5-250 mit der geringsten Anstrengung bewertet wird.

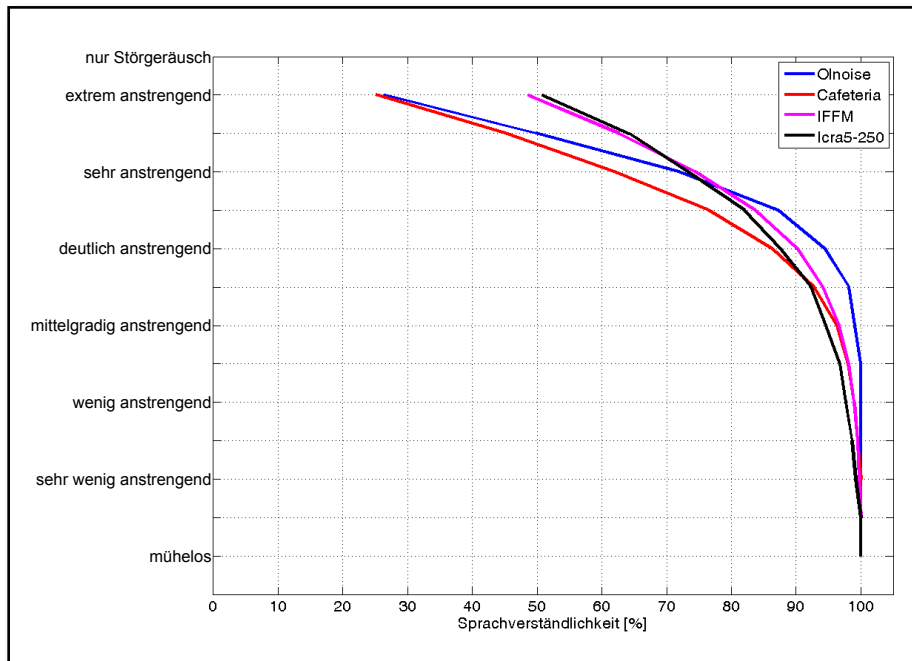


Abb. 5-13: Vergleich der erzielten Sprachverständlichkeit mit der empfundenen Höranstrengung. Die Bewertungskategorien sind über die Sprachverständlichkeit in % aufgetragen.

### 5.3.2.2 Schwerhörende

#### Vergleich der Maskierer

Die subjektive Höranstrengung wurde auch für die schwerhörigen Versuchspersonen bei vier verschiedenen Maskierern ermittelt. Dabei wurde diese Messung mit und ohne Hörgeräte durchgeführt. Im Folgenden impliziert „versorgt“, dass die Versuchspersonen während dieser Messung ihre eigenen Hörgeräte in der gewohnten Einstellung getragen haben. Im Gegensatz dazu wurde bei „unversorgt“ auf die Hörgeräte verzichtet. In Abb. 5-14 sind die Ergebnisse für „unversorgt“ dargestellt. Dabei fällt auf, dass die Verläufe der Regressionsgeraden der Schwerhörenden stark denen der Normalhörenden ähneln (siehe Abb. 5-7). Diese verlaufen in der jeweiligen Gruppe (erste Gruppe: IFFM und Icras5-250, zweite Gruppe: Olnoise und Cafeteria) annähernd parallel und weisen zueinander einen Abstand von ca. 2 dB auf. Des Weiteren liegen auch hier die Regressionsgeraden der ersten Gruppe im Vergleich zu der zweiten Gruppe bei niedrigeren SNR-Werten, und innerhalb der jeweiligen Gruppe wird der IFFM bzw. das Olnoise im Gegensatz zum Icras5-250 bzw. Cafeteria als weniger anstrengend bewertet.

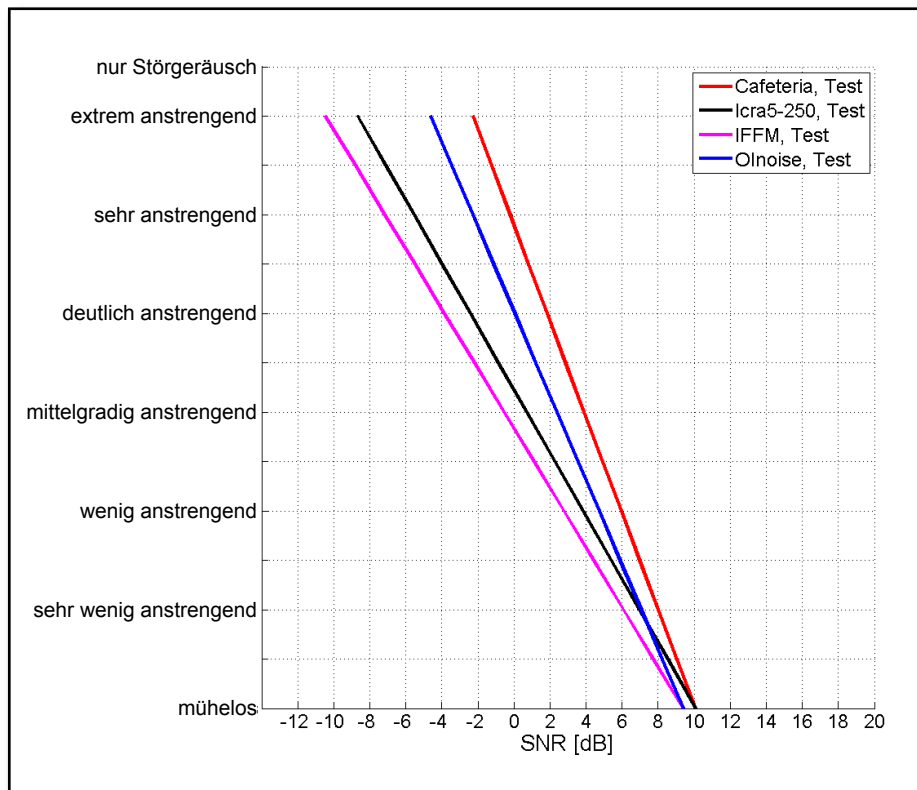


Abb. 5-14: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die vier Maskierer während des ersten Messtermins und ohne Hörgeräte („unversorgt“)

Im Vergleich zu den Normalhörenden sind jedoch die SNR-Werte, bei denen die Versuchspersonen die Höranstrengung als „müheless“ bzw. „extrem anstrengend“ bewerten, zu höheren Werten verschoben („müheless“: Normalhörende zwischen 6 und 8 dB SNR; Schwerhörige: zwischen 9 und 10 dB SNR).

Die ANOVA für Messwiederholungen konnte einen signifikanten Effekt der Maskierer (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,489$ ,  $F(1,466) = 12,171$ ,  $p = 0,001$ ) und eine Interaktion zwischen Maskierer und Höranstrengung (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,209$ ,  $F(1,877) = 130,57$ ,  $p = 0,000$ ) feststellen (siehe detaillierte Aufstellung in Anhang D8). Für die weitere Analyse wurden unter Berücksichtigung der Bonferroni-Korrektur Post-hoc-Tests durchgeführt (siehe Tabelle 5-10). Dabei wird deutlich, dass zwischen den Maskierern in der Bewertungskategorie „müheless“ und „wenig anstrengend“ keine signifikanten Unterschiede feststellbar sind. Signifikante Unterschiede konnten bei der Bewertungskategorie „mittelgradig anstrengend“ zwischen dem IFFM und Olnoise ( $p = 0,006$ ) und dem Ica5-250 und IFFM ( $p = 0,01$ ) gefunden werden. Jedoch sind diese zwischen den Maskierern Cafeteria und IFFM nicht signifikant ( $p = 0,016$ ). Ebenfalls signifikante Effekte konnten für „extrem anstrengend“ zwischen Olnoise und IFFM ( $p = 0,001$ ); Olnoise und Ica5-250 ( $p = 0,001$ ), IFFM und Cafeteria ( $p = 0,011$ ) und zwischen IFFM und Ica5-250 ( $p = 0,009$ ) entdeckt werden. Der Unterschied zwischen Cafeteria und Ica5-250 ist hingegen nicht signifikant ( $p = 0,028$ ).

unversorgt		mühe los			
		Olnoise	IFFM	Cafeteria	lcra5-250
mühe los	Olnoise	---	,969	,220	,255
	IFFM	---	---	,234	,156
	Cafeteria	---	---	---	,959
	lcra5-250	---	---	---	---
unversorgt		wenig anstrengend			
		Olnoise	IFFM	Cafeteria	lcra5-250
wenig anstrengend	Olnoise	---	,030	,221	,166
	IFFM	---	---	,022	,020
	Cafeteria	---	---	---	,071
	lcra5-250	---	---	---	---
unversorgt		mittelgradig anstrengend			
		Olnoise	IFFM	Cafeteria	lcra5-250
mittelgradig anstrengend	Olnoise	---	,006*	,246	,024
	IFFM	---	---	,016	,010*
	Cafeteria	---	---	---	,046
	lcra5-250	---	---	---	---
unversorgt		extrem anstrengend			
		Olnoise	IFFM	Cafeteria	lcra5-250
extrem anstrengend	Olnoise	---	,001**	,297	,001**
	IFFM	---	---	,011*	,009*
	Cafeteria	---	---	---	,028
	lcra5-250	---	---	---	---

Tabelle 5-10: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für die „unversorgten“ Höranstrengungsmessungen. Dabei wurden die Maskierer in der jeweiligen Bewertungskategorie („mühe los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“, „extrem anstrengend“) miteinander verglichen. Das Signifikanzniveau wurde mit der Bonferroni-Korrektur für vier Paarvergleichen angepasst: \*signifikant ( $\alpha = 0,0125$ ), \*\*hochsignifikant ( $\alpha = 0,0025$ ).

Die Ergebnisse der „versorgten“ subjektiven Höranstrengung sind in Abb. 5-15 zusammengetragen. Dabei fällt auf, dass die Hintergrundgeräusche nicht eindeutig in Gruppen unterteilt werden können. Wenn jedoch die eingeführte Gruppeneinteilung (erste Gruppe: IFFM und lcra5-250, zweite Gruppe: Olnoise und Cafeteria) beibehalten wird, wird deutlich, dass sich der Abstand zwischen den Regressionsgeraden des IFFM- und lcra5-250-Maskierers verändert hat. Bei der „unversorgten“ Messung betrug dieser parallel um die 1,5 dB. Bei der „versorgten“ Messung hingegen schneiden sich die Regressionsgeraden von IFFM und lcra5-250 bei ca. 2 dB SNR. Der lcra5-250-Maskierer wurde bis zu diesem Punkt als anstrengender bewertet als der IFFM. Mit zunehmendem SNR nähern sich die Regressionsgeraden an, und ab 2 dB SNR wird der IFFM als anstrengender empfunden.

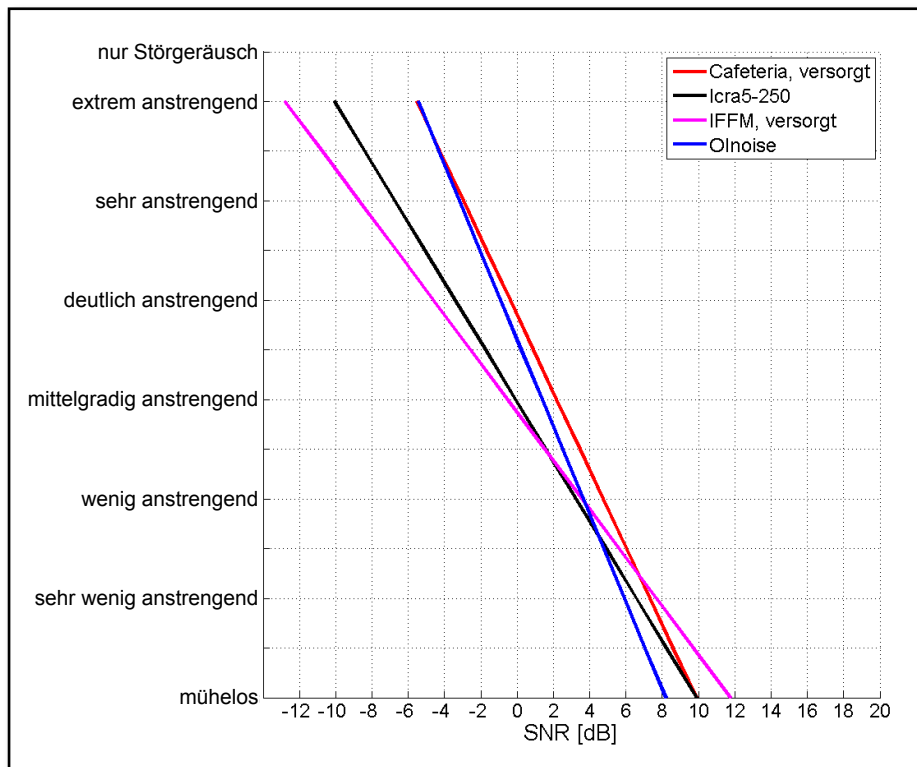


Abb. 5-15: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die vier Maskierer während des ersten Messtermins und mit Hörgeräten („versorgt“)

Auffällig ist außerdem, dass sich der Schnittpunkt der Regressionsgerade des Icr5-250-Maskierers mit dem Olnoise verändert hat. Dieser liegt ungefähr zwischen „sehr wenig anstrengend“ und „wenig anstrengend“, wohingegen dieser bei der „unversorgten“ Messung zwischen „müheles“ und „sehr wenig anstrengend“ liegt. Innerhalb der zweiten Maskierergruppe (Olnoise und Cafeteria) gab es auch Veränderungen aufgrund der Hörgeräteversorgung. Die Regressionsgeraden des Olnoise- und Cafeteria-Maskierers liegen zwar weiterhin dicht beieinander, jedoch wird dieser Abstand mit zunehmendem SNR größer, bis dieser bei „müheles“ maximal 2 dB beträgt.

Die ANOVA für Messwiederholungen konnte wie auch für die unversorgte Messung einen signifikanten Effekt der Hintergrundgeräusche (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,489$ ,  $F(1,466) = 12,171$ ,  $p = 0,001$ ) und eine Interaktion zwischen Maskierer und Höranstrengung (Greenhouse-Geisser  $\epsilon = 0,209$ ,  $F(1,877) = 130,57$ ,  $p = 0,000$ ) zeigen (siehe detaillierte Aufstellung in Anhang D8). Für die weitere Analyse wurden unter Berücksichtigung der Bonferroni-Korrektur Post-hoc-Tests durchgeführt (siehe Tabelle 5-11). Wie schon für die Ergebnisse der „unversorgten“ Messung konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Maskierern für „müheles“ und „wenig anstrengend“ gefunden werden. Für die Bewertungskategorie „mittelgradig anstrengend“ konnte ein signifikanter Unterschied zwischen Cafeteria und Icr5-250 ( $p = 0,007$ ) ermittelt werden, hingegen zwischen Cafeteria und IFFM nicht ( $p = 0,013$ ). Die meisten signifikanten Unterschiede zwischen den Maskierern lassen sich für die Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ finden (Olnoise und IFFM ( $p = 0,000$ ), Olnoise und Icr5-250 ( $p = 0,001$ ), Cafeteria und IFFM ( $p = 0,000$ ), Cafeteria



und Icras5-250 ( $p = 0,001$ ). Zwischen IFFM und Icras5-250 konnte mit einem Signifikanzwert von ( $p = 0,037$ ) knapp kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

		versorgt	mühe los			
			Olnoise	IFFM	Cafeteria	Icras5-250
mühe los	Olnoise	---	,042	,096	,030	
	IFFM	---	---	,320	,180	
	Cafeteria	---	---	---	1,000	
	Icras5-250	---	---	---	---	
		versorgt	wenig anstrengend			
			Olnoise	IFFM	Cafeteria	Icras5-250
wenig anstrengend	Olnoise	---	,950	,081	,581	
	IFFM	---	---	,322	,650	
	Cafeteria	---	---	---	,073	
	Icras5-250	---	---	---	---	
		versorgt	mittelgradig anstrengend			
			Olnoise	IFFM	Cafeteria	Icras5-250
mittelgradig anstrengend	Olnoise	---	,097	,080	,091	
	IFFM	---	---	,013	,487	
	Cafeteria	---	---	---	,007*	
	Icras5-250	---	---	---	---	
		versorgt	extrem anstrengend			
			Olnoise	IFFM	Cafeteria	Icras5-250
extrem anstrengend	Olnoise	---	,000**	,867	,001**	
	IFFM	---	---	,000**	,037	
	Cafeteria	---	---	---	,001**	
	Icras5-250	---	---	---	---	

Tabelle 5-11: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für die „versorgten“ Höranstrengungsmessungen. Dabei wurden die Maskierer in der jeweiligen Bewertungskategorie („mühe los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“, „extrem anstrengend“) miteinander verglichen. Das Signifikanzniveau wurde mit der Bonferroni-Korrektur für vier Paarvergleiche angepasst: \*signifikant ( $\alpha = 0,0125$ ), \*\*hochsignifikant ( $\alpha = 0,0025$ ).

### Versorgt - unversorgt

Die schwerhörigen Versuchspersonen haben die Höranstrengungsmessungen mit und ohne Hörgeräte durchgeführt. Für die Maskierer Cafeteria und IFFM sind deutliche Unterschiede zwischen den Ergebnissen der adaptiven Höranstrengungsskalierung erkennbar (siehe Abb. 5-16). Zwischen den Regressionsgeraden der „versorgten“ und „unversorgten“ Messung liegen beim Cafeteria-Maskierer ca. 2,5 dB („extrem anstrengend“), wobei sich die Geraden zu „mühe los“ immer weiter annähern und anschließend treffen. Bei dem IFFM-Maskierer kann der größte Abstand bei den Bewertungskategorien „extrem anstrengend“ und „mühe los“ mit ca. 2 dB festgestellt werden. Für den Cafeteria-Maskierer wird die Höranstrengung beim gleichen SNR mit Hörgeräten als weniger anstrengend bewert-



tet. Dies gilt für den IFFM nur bis zu einem SNR von -0,5 dB. Mit zunehmendem SNR werden dann die „versorgten“ Messungen als anstrengender bewertet.

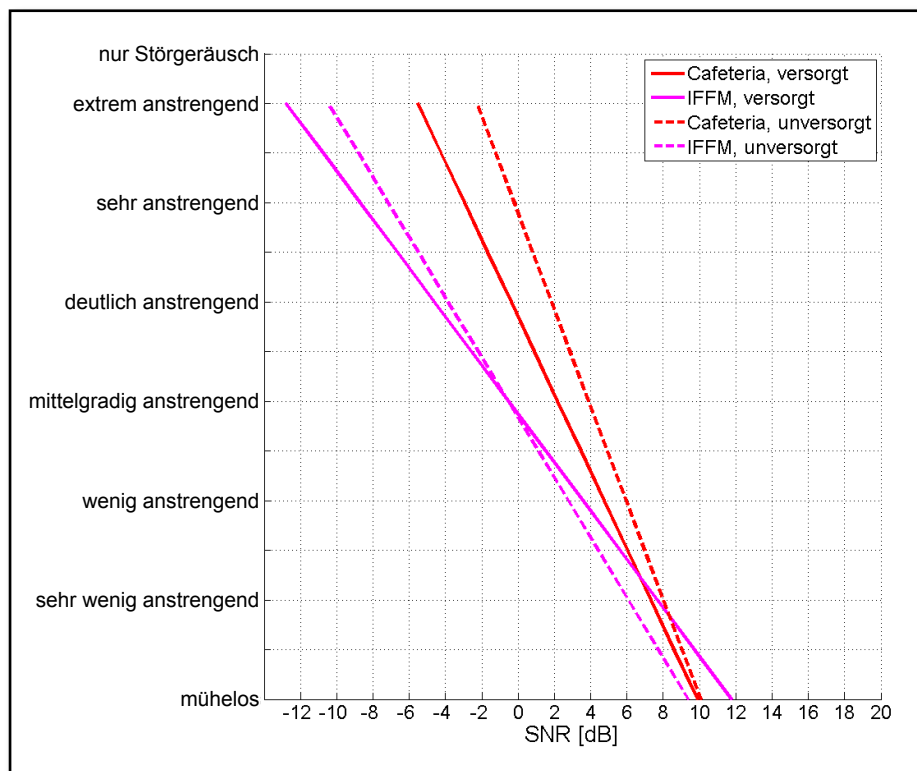


Abb. 5-16: Subjektive Höranstrengung in dB ermittelt mit dem Maskierer IFFM (magentafarbene Linien) und Cafeteria (rote Linien) für die „versorgten“ (durchgezogene Linien) und „unversorgten“ (gestrichelte Linien) Messungen

Die Unterschiede zwischen „versorgt“ und „unversorgt“ sind für das Olnoise und Ica5-250 in Abb. 5-17 deutlicher erkennbar. Die Regressionsgeraden sind für das Ica5-250 parallel verschoben (Abstand ca. 1,5 dB bei „extrem anstrengend“). Ähnliche Abstände sind bei den Bewertungen für das Olnoise zu erkennen (ca. 1 dB). Bei beiden Hintergrundgeräuschen empfinden die Versuchspersonen die Höranstrengung ohne Hörgeräte als größer. Besonders für die Bewertungskategorie „mühelos“ wird dies beim Olnoise durch einen Abstand zwischen den Regressionsgeraden von ca. 1,5 dB deutlich.

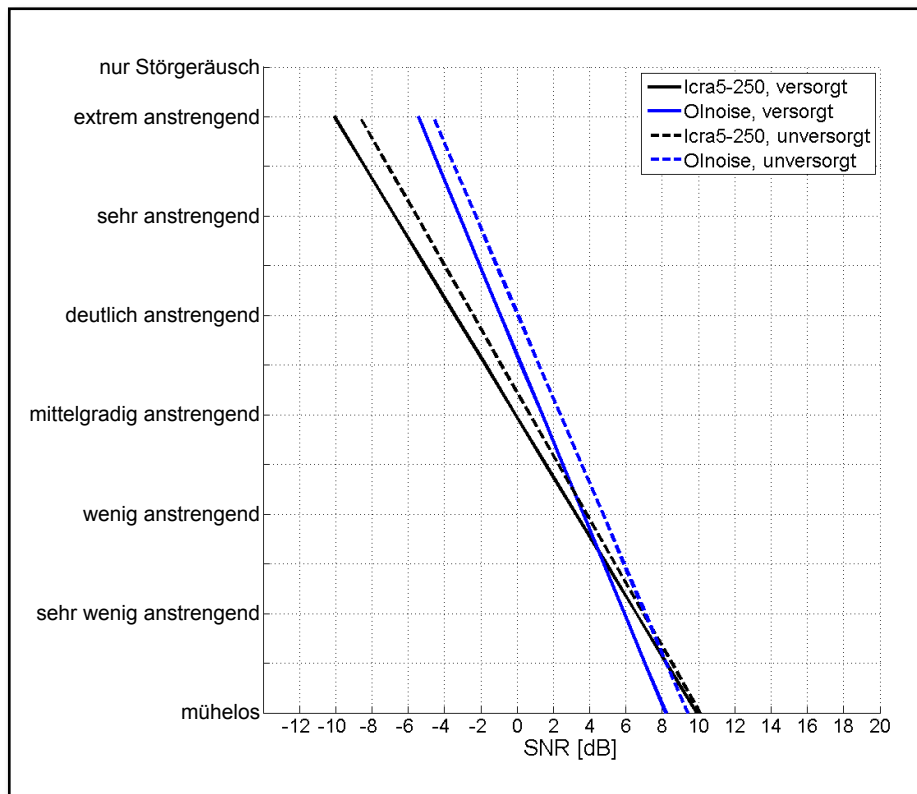


Abb. 5-17: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer Icr5-250 (schwarze Linien) und Olnoise (blaue Linien) für die „versorgten“ (durchgezogene Linien) und „unversorgten“ (gestrichelte Linien) Messungen

Die statistische Analyse der Ergebnisse mittels ANOVA für Messwiederholungen konnte keinen signifikanten Effekt des Versorgungsstatus ( $F(1) = 4,571$ ,  $p = 0,051$ ) finden (siehe detaillierte Aufstellung in Anhang D8). Aufgrund des knappen Signifikanzwertes wurden zusätzlich Post-hoc-Tests durchgeführt. Dabei konnte belegt werden, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den „versorgten“ und „unversorgten“ Messungen gefunden werden können. Die ausführlichen Ergebnisse sind der Tabelle 10-4 im Anhang zu entnehmen.

### Vergleich der Messtermine

Die Versuchspersonen haben die Höranstrengungsmessung jeweils zweimal „versorgt“ und „unversorgt“ durchgeführt. Die Ergebnisse des Terminvergleichs sind in Abb. 5-18 und 5-19 zusammengetragen. Bei Betrachtung der Ergebnisse für die „unversorgte“ Messung fällt auf, dass die Regressionsgeraden für die Test- und Retest-Situation bei Olnoise, Icr5-250 und IFFM sehr dicht beieinanderliegen. Beim Cafeteria-Maskierer hingegen befindet sich ein Abstand von ca. 2 dB zwischen den Geraden bei der Bewertungskategorie „extrem anstrengend“.

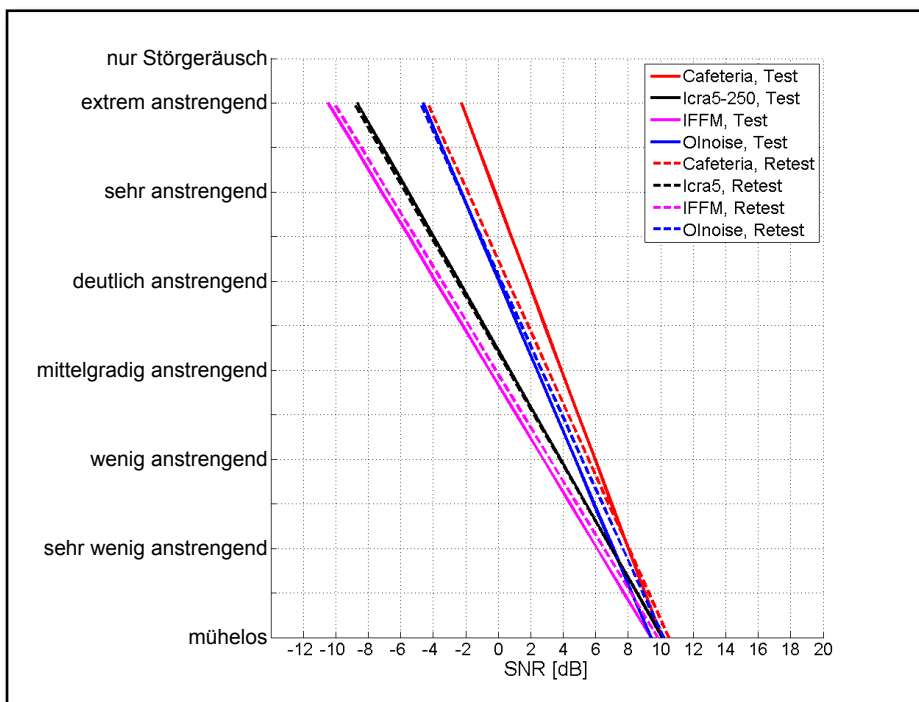


Abb. 5-18: Vergleich der subjektiven Höranstrengung („unversorgt“) in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Kondition (gestrichelte Linien) für die verschiedenen Maskierer

Im Gegensatz zu den „unversorgten“ Messungen sind bei den „versorgten“ Messungen (siehe Abb. 5-19) die Regressionsgeraden des Icra5-250- und Cafeteria-Maskierers sehr nahe beieinander (Abstand max. 1 dB). Beim IFFM hingegen beträgt dieser Abstand max. 3 dB bei „müheless“. Interessanterweise kreuzen sich die Regressionsgeraden für die Test- und Retest-Bedingungen. Der Schnittpunkt liegt bei ca. -5 dB SNR. Mit steigendem SNR wurde in der Test-Bedingung die Hörsituation als anstrengender bewertet als in der Retest-Bedingung.

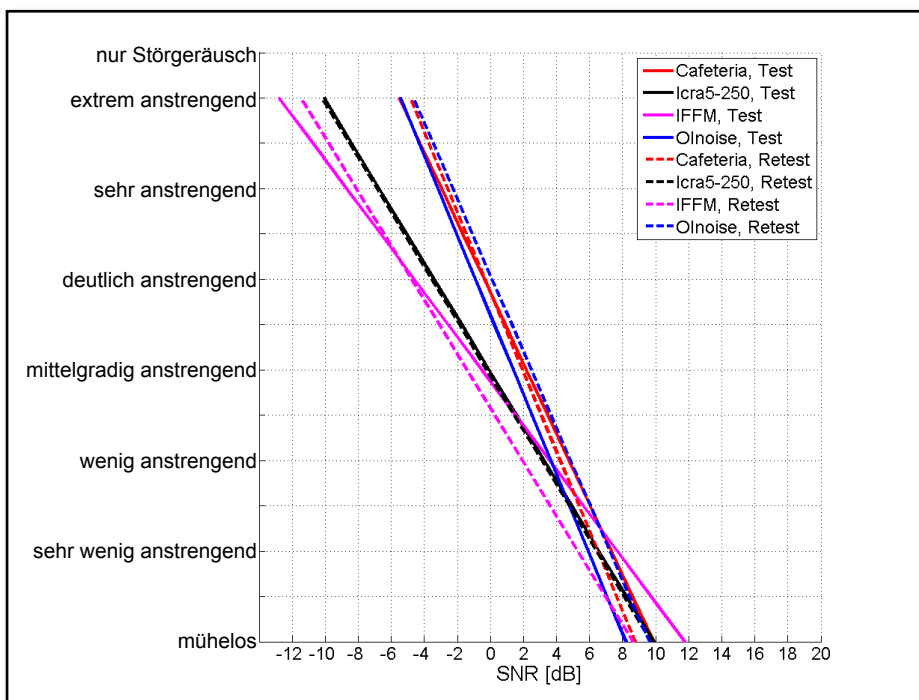


Abb. 5-19: Vergleich der subjektiven Höranstrengung („versorgt“) in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Kondition (gestrichelte Linien) für die verschiedenen Maskierer

Die statistische Analyse der Ergebnisse mittels ANOVA für Messwiederholungen konnte keinen signifikanten Effekt der Termine ( $F(1) = 0,010$ ,  $p = 0,923$ ) ermitteln (siehe detaillierte Aufstellung in Anhang D8).

### Test-Retest-Reliabilität

Ein wichtiger Teil der Evaluation einer neuen Messmethode ist die Test-Retest-Reliabilität. Zur ersten Einschätzung der Ergebnisse ist eine grafische Darstellung hilfreich. In Abb. 5-20 wurden dafür die Höranstrengungsergebnisse, in diesem Fall für die Bewertungskriterien „mühe los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“, der Retest-Kondition über die Test-Kondition für den Maskierer Cafeteria (gemessen mit Hörgeräten) aufgetragen. Im Optimalfall sollten die Test-Retest-Ergebnisse auf der Diagonalen abgebildet werden. Wie in der Abb. 5-20 zu erkennen ist, trifft dies für eine Vielzahl der Versuchspersonen und Bewertungskategorien annähernd zu.

Die entstehenden Punktwolken für jede Bewertungskategorie liegen dicht an der Diagonalen. Auffällig ist, dass die Ergebnisse zwar relativ dicht an der Diagonalen liegen, die Punktwolken jedoch teilweise stark auseinandergezogen sind. Diese Tatsache beruht auf den unterschiedlichen Hörverlusten und Hörgeräteeinstellungen. Nichtsdestotrotz sind vor allem in den Kategorien „mühe los“ und „wenig anstrengend“ einige Messpunkte erkennbar, die deutlich von der Diagonalen abweichen. Diese Versuchspersonen haben in der Retest-Kondition bei geringeren SNR-Werten die Höranstrengung als „wenig anstrengend“ bzw. „mühe los“ bewertet.

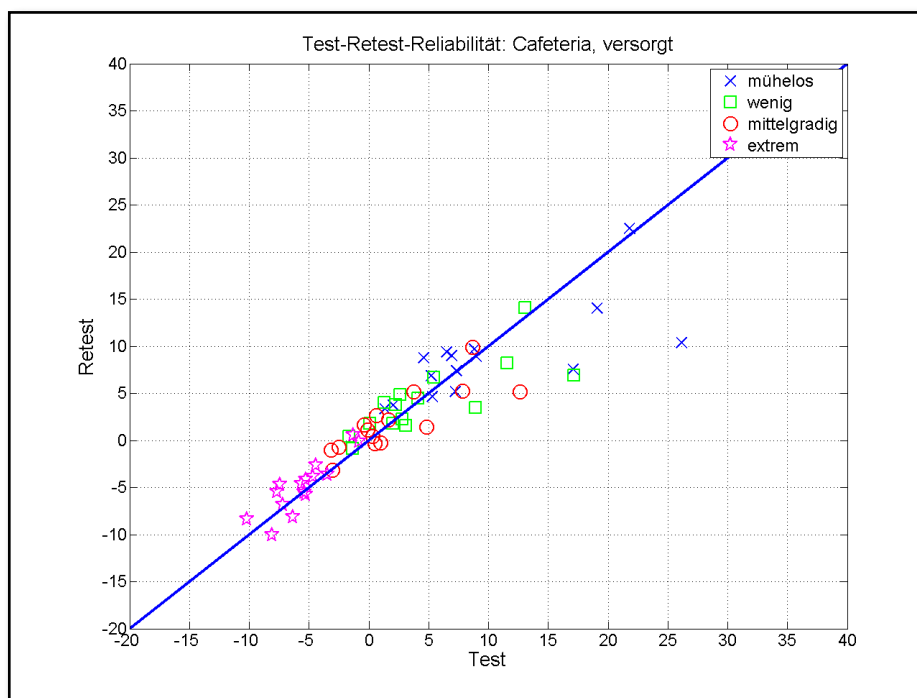


Abb. 5-20: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („versorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Cafeteria-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „mühe los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

Die statistische Analyse der Korrelation zeigte, dass in 12 der 16 Überprüfungen signifikante Unterschiede ( $\alpha = 0,05$  bzw.  $\alpha = 0,01$ ) festgestellt werden konnten (siehe Tabelle 5-12). Als schwierig erwies sich die Bewertungskategorie „müheles“ bei den Hintergrundgeräuschen IFFM und Icras5-250. Die Pearson-Korrelation ergab in diesen Fällen nur einen Wert von  $r = 0,437$  bzw.  $r = 0,317$ . Auffällig hoch waren hingegen die ermittelten Korrelationen beim Cafeteria-Hintergrundgeräusch. Diese waren alle  $r \geq 0,713$  und hochsignifikant. Demzufolge konnten die Versuchspersonen bei diesem Hintergrundgeräusch die Bewertungen besonders gut reproduzieren.

		müheles, versorgt, Retest Olnoise bzw. IFFM bzw. Cafeteria bzw. Icras5-250	wenig anstrengend, versorgt, Retest Olnoise bzw. IFFM bzw. Cafeteria bzw. Icras5-250	mittelgradig anstrengend, versorgt, Retest Olnoise bzw. IFFM bzw. Cafeteria bzw. Icras5-250	extrem anstrengend, versorgt, Retest Olnoise bzw. IFFM bzw. Cafeteria bzw. Icras5-250
müheles bzw. wenig anstrengend bzw. mittelgradig anstrengend bzw. extrem anstrengend versorgt <b>Test Olnoise</b>	Pearson-Korrelation	,535*	,652**	,728**	,505
	Sig. (2-seitig)	,040	,008	,002	,055
müheles bzw. wenig anstrengend bzw. mittelgradig anstrengend bzw. extrem anstrengend versorgt <b>Test IFFM</b>	Pearson-Korrelation	,437	,670**	,790**	,747**
	Sig. (2-seitig)	,103	,006	,000	,001
müheles bzw. wenig anstrengend bzw. mittelgradig anstrengend bzw. extrem anstrengend versorgt <b>Test Cafeteria</b>	Pearson-Korrelation	,713**	,783**	,825**	,877**
	Sig. (2-seitig)	,003	,001	,000	,000
müheles bzw. wenig anstrengend bzw. mittelgradig anstrengend bzw. extrem anstrengend versorgt <b>Test Icras5-250</b>	Pearson-Korrelation	,317	,505	,641*	,847**
	Sig. (2-seitig)	,249	,055	,010	,000

Tabelle 5-12: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorien „müheles“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität für die „versorgte“ Messung. Die Korrelationen wurden für den Vergleich der jeweiligen Maskierer berechnet und sind bei einem Niveau von  $\alpha = 0,05$  (\*) signifikant und bei einem Niveau von  $\alpha = 0,01$  (\*\*) hochsignifikant.

Im Vergleich zu den Ergebnissen der „versorgten“ Messkondition (siehe Abb. 5-20) sind in Abb. 5-21 (Testkondition: unversorgt) zusätzlich auch Messpunkte zu sehen, bei denen die Höranstrengungsbewertungskategorien in der Retest-Kondition bei höheren SNR-Werten als in der Test-Kondition ausgewählt wurden. Des Weiteren sticht besonders ein Messwert ins Auge. Der Proband hat in der Test-Kondition bei einem SNR von ca. 26 dB die Hörsituation als „extrem anstrengend“ bewertet, hingegen in der Retest-Kondition bei ca. -6 dB. Im Vergleich zur mit Hörgeräten durchgeführten Messung (siehe Abb. 5-20) fällt auf, dass für diese Versuchspersonen mehrere Messpunkte einen größeren Abstand zur Diagonalen aufweisen.

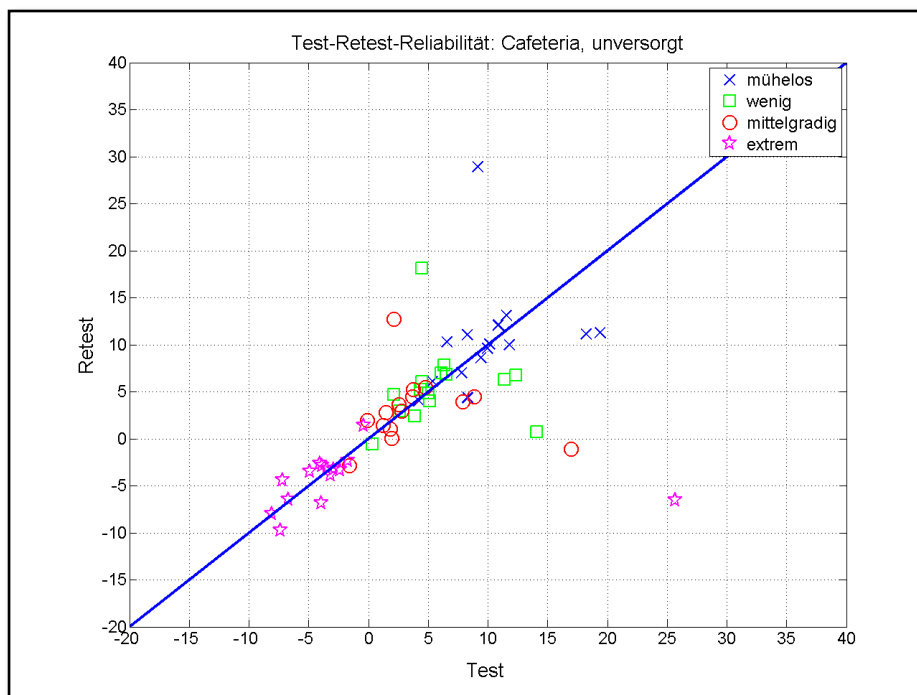


Abb. 5-21: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („unversorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Cafeteria-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

Ähnliche Ergebnisse konnten beim Olnoise- (siehe Anhang, Abb. D6-29 und D6-30), IFFM- (siehe Anhang, Abb. D6-31 und D6-32) und Ica5-250-Hintergrundgeräusch (siehe Anhang, Abb. D6-33 und D6-34) festgestellt werden. Für die Überprüfung der Test-Retest-Reliabilität wurde auch hier die Pearson-Korrelation berechnet (siehe Tabelle 5-13). Auffällig ist hierbei im Vergleich zu den „versorgten“ Ergebnissen, dass die Korrelationswerte für den Cafeteria-Maskierer sehr gering sind ( $0,07 \leq |r| \leq 0,233$ ). Die Versuchspersonen hatten demnach größere Schwierigkeiten, in der Test- und Retest-Messung die subjektive Anstrengung ähnlich zu bewerten. Weiter wird deutlich, dass die Korrelation für die Bewertungskategorie „müheless“ bei drei der vier Maskierer keine signifikanten Ergebnisse aufweist, wohingegen die anderen Bewertungskategorien signifikante bzw. hochsignifikante Korrelationen aufzeigen. Die höchsten Pearson-Korrelationswerte konnten für die Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ ermittelt werden.

		mühe- los, versorgt, Retest Olnoise bzw. IFFM bzw. Cafeteria bzw. I cra5-250	wenig anstrengend, versorgt, Retest Olnoise bzw. IFFM bzw. Cafeteria bzw. I cra5-250	mittel- gradig anstrengend, versorgt, Retest Olnoise bzw. IFFM bzw. Cafeteria bzw. I cra5-250	extrem anstrengend, versorgt, Retest Olnoise bzw. IFFM bzw. Cafeteria bzw. I cra5-250
mühe- los bzw. wenig anstrengend bzw. mittelgradig anstrengend bzw. extrem anstrengend unversorgt <b>Test Olnoise</b>	Pearson-Korrelation	,525*	,525*	,524*	,539*
	Sig. (2-seitig)	,044	,044	,045	,038
mühe- los bzw. wenig anstrengend bzw. mittelgradig anstrengend bzw. extrem anstrengend unversorgt <b>Test IFFM</b>	Pearson-Korrelation	,485	,675**	,755**	,872**
	Sig. (2-seitig)	,067	,006	,001	,000
mühe- los bzw. wenig anstrengend bzw. mittelgradig anstrengend bzw. extrem anstrengend unversorgt <b>Test Cafeteria</b>	Pearson-Korrelation	,233	,044	-,036	,007
	Sig. (2-seitig)	,403	,877	,900	,981
mühe- los bzw. wenig anstrengend bzw. mittelgradig anstrengend bzw. extrem anstrengend unversorgt <b>Test I cra5-250</b>	Pearson-Korrelation	,423	,583*	,689**	,902**
	Sig. (2-seitig)	,116	,023	,004	,000

Tabelle 5-13: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorien „mühe-los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität für die „unversorgte“ Messung. Die Korrelationen wurden für den Vergleich der jeweiligen Maskierer berechnet und sind bei einem Niveau von  $\alpha = 0,05$  (\*) signifikant und bei einem Niveau von  $\alpha = 0,01$  (\*\*) hochsignifikant.

### Vergleich Höranstrengung mit Sprachverständlichkeit

Neben der subjektiven Höranstrengung wurde, wie auch für die Normalhörenden, die Sprachverständlichkeit für verschiedene Maskierer ermittelt. Die psychometrischen Funktionen (siehe Kapitel 3.3.1 und Formel (1) für nähere Erklärungen) für die unversorgten und die versorgten Messungen sind in Abb. 5-22 und 5-23 zusammengetragen. Die Betrachtung der Höranstrengungsergebnisse zeigte, dass die Maskierer in zwei Gruppierungen unterteilt werden können. Diese Gruppierungen finden sich auch in der Sprachverständlichkeit wieder. Die Verläufe der psychometrischen Funktionen des IFFM- und I cra5-250-Hintergrundgeräusches haben einen ähnlichen Verlauf, wobei die Sprachver-



ständigkeit beim IFFM besser ist als beim Icras5-250. Dies lässt sich für die „versorgte“ und „unversorgte“ Messung feststellen.

Ähnliche Ergebnisse lassen sich beim Olnoise- und Cafeteria-Maskierer festhalten. Bei gleichem SNR ist die Sprachverständlichkeit im Olnoise höher als beim Cafeteria-Maskierer. Dies gilt für die „versorgte“ und „unversorgte“ Messkondition (siehe Abb. 5-23). Auffällig sind die Schnittpunkte der Höranstrengungs-Regressionsgeraden mit den psychometrischen Funktionen. Diese Schnittpunkte liegen bei einem Sprachverstehen von ca. 80 bis 85 % für den Olnoise- und Cafeteria-Maskierer, bei ca. 70 bis 75 % für IFFM und Icras5-250 („unversorgte Messung“). Das Sprachverstehen wird dort zwischen „deutlich anstrengend“ und „sehr anstrengend“ empfunden. Des Weiteren wird deutlich, dass sich für alle Maskierer auch bei einem Sprachverstehen von 100 % die wahrgenommene Höranstrengung weiter reduziert.

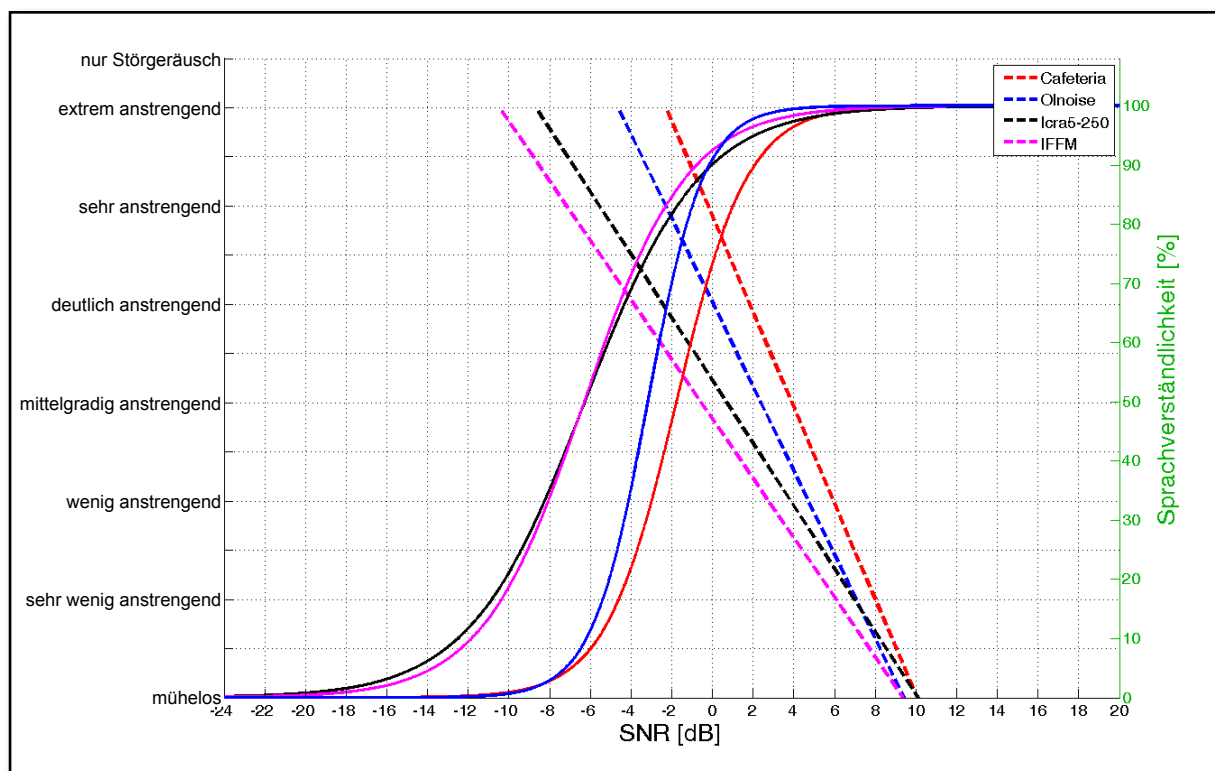


Abb. 5-22: Darstellung der über alle Versuchspersonen gemittelten psychometrischen Sprachverständlichkeitsfunktion (durchgezogene Linien) sowie der ermittelten subjektiven Höranstrengung (gestrichelte Linien) für verschiedene Maskierer im unversorgten Zustand

Durch die Benutzung der Hörgeräte verschiebt sich der Schnittpunkt der Höranstrengung mit der psychometrischen Funktion. Für den IFFM- und den Icras5-250-Maskierer ist der Schnittpunkt von 70 bis 75 % auf ca. 80 % Sprachverständlichkeit verschoben. Beim Olnoise-Maskierer beträgt die Verbesserung ebenfalls ca. 5 %. Nur für den Cafeteria-Maskierer ist der Schnittpunkt nahezu identisch geblieben (siehe Vergleich Abb. 5-22 und 5-23).

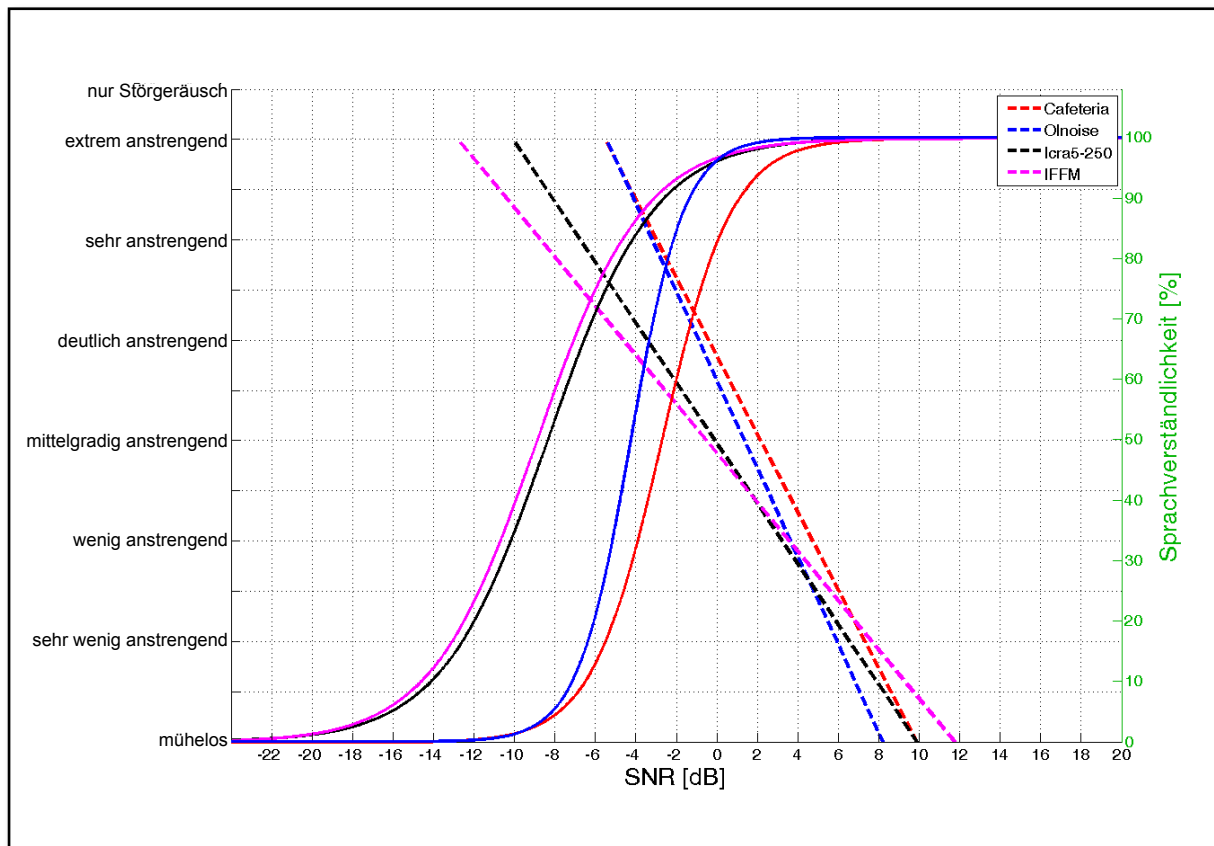


Abb. 5-23: Darstellung der über alle Versuchspersonen gemittelten psychometrischen Sprachverständlichkeitsfunktion (durchgezogene Linien) sowie der ermittelten subjektiven Höranstrengung (gestrichelte Linien) für verschiedene Maskierer im versorgten Zustand

### 5.3.3 Höranstrengungsfragebogen

Die Fragen des Höranstrengungsfragebogens für die Schwerhörigen können in drei Faktoren unterteilt werden. Faktor 1 repräsentiert alle Fragen, die auf dem SNR basieren (Frage 3, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 14, 16). Alle Fragen, in denen die Signalqualität gestört ist, z. B. durch Nachhall, sind in Faktor 2 zusammengefasst (Frage 2, 8, 15, 17). Die restlichen Fragen (Frage 1, 6, 9, 13) gehören zum Faktor 3, der Fragen in Ruhe und mit Lippenlesen beinhaltet. Für die Auswertung wurden Mittelwerte aus der angegebenen subjektiven Höranstrengung über alle Versuchspersonen berechnet (siehe Abb. 5-24). Es stellte sich heraus, dass die Versuchspersonen den Faktor 1 mit einer 4,5 (geringer als mittelgradig anstrengend) bewertet haben; Faktor 2 mit 5,9 (anstrengender als mittelgradig anstrengend) und Faktor 3 mit ca. 2,8 bewertet haben.

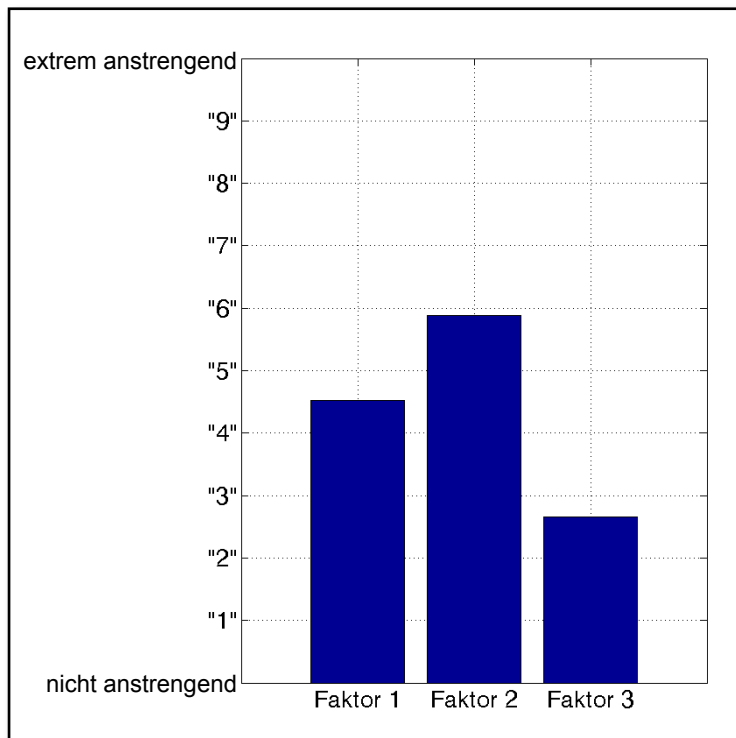


Abb. 5-24: Antwortverhalten der Versuchspersonen bei der Beantwortung des Höranstrengungsfragebogens. Faktor 1 beinhaltet Fragen, die auf dem SNR basieren. In Faktor 2 sind Fragen zusammengefasst, die sich auf eine gestörte Signalqualität (z. B. Nachhall) beziehen. Zu Faktor 3 gehören alle Fragen in Ruhe und mit Lippenlesen.

Interessant ist die Vergleichbarkeit der subjektiven Bewertung der Höranstrengung ermittelt durch den Fragenbogen und der adaptiven Skalierung. Die Ergebnisse der Test- und Retest-Bedingung wurden dafür gemittelt. Für den Vergleich der Daten von Alltag und Labor wurden die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“, „extrem anstrengend“ gewählt. Wie der Tabelle 5-14 zu entnehmen ist, liegen hohe Korrelationen zu den Faktoren 1 und 2 vor. Besonders auffällig sind dabei die Ergebnisse für den Cafeteria-Maskierer. Alle Bewertungskategorien weisen eine Korrelation zwischen 0,560 und 0,715 zu den Faktoren 1 und 2 auf. Damit sind diese Ergebnisse, bis auf die für die Bewertungskategorie „extrem anstrengend“, hochsignifikant. Für den Olnoise-Maskierer weisen die Bewertungskategorien „wenig anstrengend“ und „mittelgradig anstrengend“ signifikante Korrelationen zu den Faktoren 1 und 2 auf. Bei den Maskierern IFFM und Ica5-250 konnte zusätzlich eine hohe Korrelation für „müheless“ festgestellt werden.

		Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
müheles, versorgt <b>Olnoise</b>	Pearson-Korrelation	,482	,197	,493
	Sig. (2-seitig)	,069	,481	,062
wenig anstrengend, versorgt <b>Olnoise</b>	Pearson-Korrelation	,517*	,242	,526*
	Sig. (2-seitig)	,048	,385	,044
mittelgradig anstrengend, versorgt <b>Olnoise</b>	Pearson-Korrelation	,539*	,275	,545*
	Sig. (2-seitig)	,038	,321	,036
extrem anstrengend, versorgt <b>Olnoise</b>	Pearson-Korrelation	,522*	,398	,51
	Sig. (2-seitig)	,046	,142	,052
müheles, versorgt <b>IFFM</b>	Pearson-Korrelation	,637*	,383	,697**
	Sig. (2-seitig)	,011	,159	,004
wenig anstrengend, versorgt <b>IFFM</b>	Pearson-Korrelation	,672**	,431	,729**
	Sig. (2-seitig)	,006	,109	,002
mittelgradig anstrengend, versorgt <b>IFFM</b>	Pearson-Korrelation	,669**	,446	,722**
	Sig. (2-seitig)	,006	,096	,002
extrem anstrengend, versorgt <b>IFFM</b>	Pearson-Korrelation	,513	,396	,540*
	Sig. (2-seitig)	,05	,144	,038
müheles, versorgt <b>Cafeteria</b>	Pearson-Korrelation	,654**	,396	,668**
	Sig. (2-seitig)	,008	,144	,006
wenig anstrengend, versorgt <b>Cafeteria</b>	Pearson-Korrelation	,679**	,423	,702**
	Sig. (2-seitig)	,005	,116	,004
mittelgradig anstrengend, versorgt <b>Cafeteria</b>	Pearson-Korrelation	,686**	,436	,715**
	Sig. (2-seitig)	,005	,104	,003
extrem anstrengend, versorgt <b>Cafeteria</b>	Pearson-Korrelation	,560*	,399	,613*
	Sig. (2-seitig)	,03	,141	,015
müheles, versorgt <b>Icra5-250</b>	Pearson-Korrelation	,608*	,335	,652**
	Sig. (2-seitig)	,016	,222	,008
wenig anstrengend, versorgt <b>Icra5-250</b>	Pearson-Korrelation	,651**	,421	,713**
	Sig. (2-seitig)	,009	,118	,003
mittelgradig anstrengend, versorgt <b>Icra5-250</b>	Pearson-Korrelation	,648**	,454	,717**
	Sig. (2-seitig)	,009	,089	,003
extrem anstrengend, versorgt <b>Icra5-250</b>	Pearson-Korrelation	,513	,46	,591*
	Sig. (2-seitig)	0,051	,085	,02

Tabelle 5-14: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Höranstrengung („versorgte“ Messung) und die Faktoren des Fragebogens. Dabei wurden die Bewertungskategorien „müheles“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“, „extrem anstrengend“ des jeweiligen Maskierers mit den Faktoren verglichen. Für die Bestimmung der Bewertungskategorien wurden die Ergebnisse der Test- und Retest-Kondition gemittelt. Die Korrelation ist bei einem Niveau von  $\alpha = 0,05$  (\*) signifikant und bei einem Niveau von  $\alpha = 0,01$  (\*\*) hochsignifikant.

## 5.4 Diskussion

### 5.4.1 Sprachverstehen

Die SRT-Messungen wurden mit der Oldenburger Messapparatur durchgeführt. Dabei wurde die adaptive Messmethode mit konstantem Störgeräuschpegel gewählt. Der gemessene SRT für den Olnoise-Maskierer stimmt mit den Erwartungen aus der Literatur (-7,1 dB SNR; Wagener et al., 1999c) überein. Bei dem Vergleich des Wertes mit den Ergebnissen von Holube (2011) fällt auf, dass die normalhörenden Versuchspersonen dort einen um 0,8 dB besseren SRT aufweisen (siehe Tabelle 5-15). Diese Information ist besonders für den Vergleich der Ergebnisse für die fluktuierenden Maskierer von Bedeutung. Die ermittelten SRT-Werte für den IFFM- und Ica5-250-Maskierer sind bei Holube (2011) um 3,6 dB (IFFM) bzw. 1,7 dB (Ica5-250) niedriger als bei den Ergebnissen, die innerhalb dieser Untersuchung gemessen wurden. Da die Versuchspersonen aber auch für das Olnoise bessere SRT-Werte erzielt haben, kann davon ausgegangen werden, dass es sich um eine gut trainierte Versuchspersonengruppe handelte. Auffällig ist, dass die Versuchspersonen bessere SRT-Werte beim IFFM-Maskierer erreicht haben als beim Ica5-250. Dies widerspricht den Ergebnissen in dieser Untersuchung. Dort wurde für das Ica5-250 ein um 0,8 dB besserer SRT-Wert gemessen. Eine mögliche Erklärung ist, dass die Versuchspersonen beim Ica5-250 besser von den Lücken innerhalb des fluktuierenden Maskierers profitierten.

Die SRT-Ergebnisse für die schwerhörigen Versuchspersonen unterscheiden sich ebenfalls. In der Untersuchung von Holube (2011) wurden niedrigere SRT-Werte für die drei Maskierer gemessen. Ein möglicher Grund könnten hierfür die unterschiedlichen Kriterien für den Hörverlust sein. Die Hörschwellen bewegten sich bei Holube (2011) zwischen 20 und 60 dB HL. In dieser Untersuchung jedoch lag die Grenze für die Hörschwelle bei 95 dB HL. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass die mittleren Hörverluste unterschiedlich waren.

		Olnoise SRT in dB	Cafeteria SRT in dB	IFFM SRT in dB	Ica5-250 SRT in dB
Resultate dieser Messungen	Normalhörende	-7,0	-5,9	-18,0	-18,8
	Schwerhörige	-3,7	-2,7	-6,1	-7,5
Holube (2011)	Normalhörende	-7,8	---	-21,6	-20,5
	Schwerhörige	-5,1	---	-12,7	-10,6

Tabelle 5-15: Gegenüberstellung der Messresultate ermittelt in Kapitel 5.3.1 und der Studie von Holube (2011). Bei den Werten handelt es sich um den Median der SRT-Werte in dB für die verschiedenen Maskierer. Die schwerhörigen Versuchspersonen wurden ohne Hörgeräte getestet.

Erwartungsgemäß konnten Unterschiede zwischen den SRTs für stationäre und fluktuierende Maskierer festgestellt werden. Die SRTs für die fluktuierenden Maskierer liegen bei niedrigeren Werten, sodass die Versuchspersonen bessere Ergebnisse erzielten. Die Ver-

suchspersonen profitieren bei diesen Maskierern vom Lückenhören. Subjektive Äußerungen der Versuchspersonen ließen des Weiteren darauf schließen, dass diese durch den IFFM etwas stärker irritiert wurden als durch Ica5-250.

Ein Vergleich der SRT-Werte ermittelt für die normalhörenden und schwerhörenden Versuchspersonen zeigt, dass die älteren Schwerhörenden augenscheinlich mit Hörgeräten nicht die Ergebnisse der Normalhörenden erreichen könnten (siehe Tabelle 5-16). Da es sich um erfahrene Versuchspersonen des Hörzentrums Oldenburg handelt, die den OLSA bereits mehrfach durchgeführt haben, können Schwierigkeiten mit dem Testablauf oder dem Sprachmaterial nahezu ausgeschlossen werden.

	Normalhörende	Schwerhörende	
	SRT in dB SNR	Unversorgt (SRT in dB SNR)	Versorgt (SRT in dB SNR)
Olnoise	-7,0	-3,7	-5,1
Cafeteria	-5,9	-2,7	-3,4
IFFM	-18	-6,1	-10,3
Ica5-250	-18,8	-7,5	-9,6

Tabelle 5-16: Überblick über die erzielten SRTs für Normalhörende sowie mit („versorgt“) und ohne Hörgeräten („unversorgt“) versorgten Schwerhörigen. Die SRT-Werte sind als Mediane angegeben.

Interessant ist der Vergleich der berechneten Sprachverständlichkeit mittels der psychometrischen Funktion und der gemessenen Werte. Dabei zeigte sich, dass bei der Berechnung die Sprachverständlichkeit für 70, 80 und 90 % unterschätzt wurde. Die gemessene Sprachverständlichkeit bei den vorgegebenen SNR-Werten ist höher. Demzufolge wurde die Steigung als zu gering angenommen. Nur beim Olnoise-Maskierer stimmen die berechneten und gemessenen Werte annähernd überein. Es ist darauf hinzuweisen, dass für die Beschreibung der Ergebnisse immer die berechnete psychometrische Funktion herangezogen wurde und nicht das gemessene Sprachverstehen bei 70, 80 und 90 %.

#### 5.4.2 Adaptive Höranstrengungsskalierung

Innerhalb der adaptiven Höranstrengungsskalierung werden die Grenzen „müheles“ und „extrem anstrengend“ bestimmt. Dabei werden die Pegel adaptiv basierend auf der vorherigen Bewertung variiert, und für die Grenzbestimmung bekommen die Versuchspersonen abwechselnd laute und leisere Pegel präsentiert. Durch diese Methode kann der Vergleichseffekt nicht ausgeschlossen werden. Die Versuchspersonen könnten versuchen, den präsentierten Pegel mit dem vorherigen Pegel zu vergleichen, und darauf basierend ihre Bewertung abgeben. Durch die randomisierte Darbietung der Pegel innerhalb der ermittelten Grenzen während der zweiten und dritten Messphase des Messverfahrens wird jedoch versucht, diesen Vergleichseffekten entgegenzuwirken, wobei sie trotzdem vorhanden sind.

#### 5.4.2.1 Vergleich der Versuchspersonengruppen: Normal- und Schwerhörende

Die adaptive Höranstrengungsskalierung wurde mit normal- und schwerhörenden Versuchspersonen durchgeführt. Beide Versuchspersonengruppen waren in der Lage, die Messungen mit Hilfe der Instruktion durchzuführen. Während des Messverfahrens müssen die Bewertungsgrenzen „müheles“ und „extrem anstrengend“ erreicht werden. Dies stellte bei den normalhörenden Versuchspersonen kein Problem dar. Schwierigkeiten entstanden erst bei der Durchführung mit den Schwerhörigen. Die Versuchspersonen trugen während der Messungen ihre eigenen Hörgeräte in der gewohnten Einstellung. Dadurch entfiel während der Studie die Eingewöhnungsphase, und die Versuchspersonen profitierten von den eingestellten Hörgerätealgorithmen. Aufgrund ihres Hörverlustes haben einige Versuchspersonen jedoch das Bewertungskriterium „müheles“ nicht verwendet. Dadurch wurde der SNR weiter erhöht, und der Darbietungspegel erreichte die maximale Begrenzung von 95 dB SPL. Die Höranstrengung wurde nicht bis zu einem unbegrenzten positiven SNR als „müheles“ wahrgenommen, sondern diese kann mit steigendem SNR wieder zunehmen. Aufgrund der Einschränkung bei der Messmethodik kann es bei schwerhörigen Versuchspersonen zu Schwierigkeiten kommen. Daher müsste das Messverfahren um ein Kriterium erweitert werden, welches die Problematik mit dem Erreichen der Grenzen behebt.

Die adaptive subjektive Skalierung kann Unterschiede zwischen den Versuchspersonengruppen aufzeigen. Die deskriptive Statistik zeigt, dass sich der SNR-Bereich zwar ähnelt, die SNR-Werte für „extrem anstrengend“ und „müheles“ für die Schwerhörigen im Vergleich zu den Normalhörenden zu positiveren Werten verschoben sind. Die Höranstrengung wird demnach augenscheinlich von ihnen bei gleichen SNR-Werten als anstrengender bewertet. Ähnliche Ergebnisse konnten mit der statischen Methode in diversen Studien ermittelt werden (Schulte et al., 2009; Luts et al., 2010; Larsby et al., 2005). Ebenfalls konnte laut deskriptiver Statistik ein Hörgerätenutzen nachgewiesen werden. Die Höranstrengung wurde bei Messungen ohne Hörgeräte als anstrengender bewertet. Dies bestätigt die Ergebnisse aus vielen Studien (u. a. Schulte et al., 2008; Humes, 1999; Luts et al., 2010; Meis und Gabriel, 2011). Erwähnenswert ist hierbei, dass der Vergleich für unversorgte und versorgte Messungen über die gesamte Skala durchgeführt werden kann und nicht nur für festgelegte SNR-Werte. Zwar konnte eine Tendenz ermittelt werden, dass die Höranstrengung mit Hörgeräten als weniger anstrengend wahrgenommen wird, jedoch ist dieser Unterschied nicht signifikant. Ein positiver Nebeneffekt durch die Wahl der Versuchspersonengruppen war der Altersunterschied. Durch die beiden Altersgruppen konnte überprüft werden, dass das Bewertungsverfahren sowohl für junge als auch ältere Versuchspersonen verständlich instruiert und durchführbar ist.



#### 5.4.2.2 Vergleich der Hintergrundgeräusche

Die Evaluation der adaptiven Höranstrengungsskalierung wurde mit vier Maskierern durchgeführt: zwei stationären (Olnoise, Cafeteria) und zwei fluktuierenden (IFFM, Icras5-250). In der Literatur wurde beschrieben, dass sich die Höranstrengung für verschiedene Maskierer unterscheidet (Taesler und Holube, 2009; Schulte et al., 2007; Störmer, 2013; Larsby et al., 2005; Hällgren et al., 2005). Demnach sollte die adaptive Skalierung auch in der Lage sein, sensitive Unterschiede zwischen den Maskierern zu detektieren. Diese signifikanten Unterschiede konnten sowohl für die Normalhörenden als auch für die Schwerhörigen ermittelt werden. Die Höranstrengung wurde für die fluktuierenden Maskierer im Vergleich zu den stationären als weniger anstrengend bewertet. Wie bei Schulte et al. (2007) konnte auch in dieser Untersuchung festgestellt werden, dass die subjektive Höranstrengung für den Cafeteria-Maskierer bei gleichen SNR-Werten höher ist als für das Olnoise. Jedoch wird bei gleicher Sprachverständlichkeit der Cafeteria-Maskierer als am wenigsten anstrengend empfunden.

#### 5.4.2.3 Vergleich der Messtermine und Test-Retest-Reliabilität

Die normal- und schwerhörenden Versuchspersonen haben die Höranstrengungsmessungen an mindestens zwei Messterminen durchgeführt. Dabei konnte eine hohe Korrelation zwischen den Ergebnissen ermittelt werden. Dies lässt vermuten, dass die Versuchspersonen die abgegebenen subjektiven Bewertungen reproduzieren können. Während des Kennenlernens der Maskierer durch das Training haben sich die Versuchspersonen ihre eigene Definition von Höranstrengung überlegt und diese für die weiteren Messungen beibehalten. Interessant ist jedoch auch, dass die Korrelation zwischen dem zweiten und dritten Termin bei den Normalhörenden höher war als die Korrelation zwischen dem ersten und zweiten bzw. dritten Termin. Dies kann auf einen Lerneffekt schließen lassen.

#### 5.4.2.4 Vergleich der Höranstrengung und Sprachverständlichkeit

Es wurde von Schulte et al. (2009) ein Zusammenhang zwischen Höranstrengung und Sprachverständlichkeit vermutet. Dabei wurde davon ausgegangen, dass bei höherer Sprachverständlichkeit weniger Höranstrengung auftritt als in Situationen mit geringer Sprachverständlichkeit. Dies bestätigt sich in dieser Untersuchung. Mit schlechter werdender Sprachverständlichkeit erhöht sich die wahrgenommene Höranstrengung. Interessant ist der Schnittpunkt der Kurven. Dieser liegt ca. bei einer Sprachverständlichkeit von 80 %. In diesem Bereich bewerteten die Versuchspersonen die wahrgenommene Höranstrengung als „sehr anstrengend“. Dies ist ein überraschendes Ergebnis, da bis jetzt davon ausgegangen wurde, dass bei einer Sprachverständlichkeit im Bereich von 100 % die Höranstrengung nicht als „sehr anstrengend“ wahrgenommen wird, sondern eher im Bereich zwischen „wenig anstrengend“ und „mittelgradig anstrengend“. Es zeigte sich jedoch, dass trotz guten Sprachverstehens die subjektive Höranstrengung stärker wahrgenommen wird.

### 5.4.3 Höranstrengungsfragebogen

Die schwerhörigen Versuchspersonen haben zusätzlich zu den Höranstrengungsmessungen den „Höranstrengung – Fragebogen, International“ von Schulte et al. (2015) ausgefüllt. Dabei sollten sie die wahrgenommene Höranstrengung in diversen Situationen bewerten und zwar unter der Berücksichtigung, dass sie in diesen Situationen Hörgeräte tragen. Es zeigte sich, dass die Fragen in drei Faktoren unterteilt werden können. Wie zu erwarten, wird die Höranstrengung am geringsten bewertet, wenn sich die Fragen auf Situationen in Ruhe beziehen (Faktor 3). Bewertungen, die hingegen auf Situationen mit gestörter Signalqualität beruhen (Faktor 2), werden als am anstrengendsten bewertet. Interessant dabei ist die Übertragung der Alltagsergebnisse auf im Labor ermittelte Höranstrengungsbewertungen. Bei der adaptiven Höranstrengungsskalierung wird die Hörsituation während der Messung durch variierende SNR-Werte verändert. Damit ist es am naheliegendsten, dass, wenn eine Korrelation zwischen Alltags- und Laborergebnissen vorliegt, diese zum Faktor 1 besteht. Wie sich jedoch zeigte, liegt nicht nur eine hohe Korrelation zum Faktor 1 vor, sondern auch zum Faktor 3. Dabei bezieht sich dieser Faktor auf Fragen in Ruhe. Für den Cafeteria-Maskierer liegen zwischen den Faktoren und allen getesteten Bewertungskategorien („müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“, „extrem anstrengend“) signifikante bzw. hochsignifikante Korrelationen vor, für das Olnoise hingegen nur für „wenig anstrengend“ und „mittelgradig anstrengend“. Damit zeigt sich, dass der realitätsnähere Cafeteria-Maskierer besser für den Vergleich mit Alltagsbewertungen geeignet ist. Ebenfalls hohe Korrelationen konnten bei den fluktuierenden Maskierern ermittelt werden. Dies lässt darauf schließen, dass fluktuierende Geräusche ebenfalls als alltagsnah angesehen werden können und für einen Vergleich der Ergebnisse geeignet sind.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Für die Ermittlung der subjektiven Höranstrengung wurde eine adaptive Skalierungsmethode entwickelt und evaluiert. Als Basis für diese galt die kategoriale Lautheitsskalierung nach Brand und Hohmann (2002). Dabei wird während der Skalierung der Sprachdarbietungspegel in dB adaptiv, basierend auf der vorherigen subjektiven Bewertung, variiert.

In der Literatur wurden viele Studien vorgestellt, bei denen die subjektive Bewertung der Höranstrengung für feste SNR-Werte erfasst wurde (Holube, 2011; Zekveld et al., 2010; Störmer, 2010; Haeder et al., 2014; Schulte et al., 2011; Luts et al., 2010; Ortmann, 2013). Da die Versuchspersonen dazu neigen, die gesamte Skala auszunutzen, obwohl die gewählten SNR-Werte dies gegebenenfalls nicht zulassen, müssten Vortests zur Festlegung der SNR-Werte durchgeführt werden. Die adaptive Methode hingegen ermittelt den individuellen SNR-Bereich für jede Versuchsperson. Dadurch können Vortests vermieden, und Messzeit kann eingespart werden. Die Messzeit einer Höranstrengungsmessung ist vergleichbar mit der der gängigen Sprachtests. Die Bewertung der Höranstrengung erfolgte über eine 14-stufige Skala. Diese besteht aus acht beschrifteten Bewertungskategorien und sechs unbeschrifteten Zwischenschritten. In der Evaluation zeigte sich, dass die Versuchspersonen dazu neigen, hauptsächlich die beschrifteten Kategorien zur Bewertung zu verwenden. Daher wäre es interessant, die Skala ohne oder mit Hilfe weniger Zwischenstufen zu testen. Positiv empfanden die Versuchspersonen die Bewertungskategorie „nur Störgeräusch“. Dadurch wurde ihnen im Fall, dass keine Sprache mehr wahrnehmbar war, die Bewertungsentscheidung erleichtert.

Die Evaluation der adaptiven Höranstrengungsskalierung wurde mit vier verschiedenen Maskierern (zwei stationäre, zwei fluktuierende) als Hintergrundgeräusche durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass das Messfahren in der Lage ist, Unterschiede in der Höranstrengung zwischen den Maskierern zu erfassen, vor allem in dem Bereich, wo Sprachverständlichkeitstests an ihre Grenze stoßen. Es wurde beobachtet, dass die wahrgenommene Höranstrengung, trotz eines Sprachverstehens von 100 %, mit besser werdendem SNR weiter sinkt. Der Schnittpunkt der psychometrischen Sprachverständlichkeitsfunktion und der Höranstrengungsgeraden liegt je nach Maskierer zwischen 70 und 80 % (Sprachverständlichkeit) und liegt im Bereich von deutlich bis sehr anstrengend.

Bei der Evaluation eines neuen Messverfahrens ist es vor allen Dingen wichtig, dass es für unterschiedliche Versuchspersonengruppen durchführbar ist. Wie sich in dieser Untersuchung herausstellte, sind die Höranstrengungsmessungen nach einer schriftlichen Instruktion sowohl für jüngere Normalhörende als auch für ältere Schwerhörige umsetzbar. Der Ablauf ist selbsterklärend und aufgrund der Verwendung eines Touchscreens selbst für ältere Versuchspersonen leicht durchführbar. Es zeigte sich für die schwerhörigen Versuchspersonen jedoch, dass die Kriterien zur Bestimmung der Grenzen „müheless“ und „extrem anstrengend“ nicht optimal sind. Für diese Versuchspersonengruppe ist ein wei-

teres Kriterium notwendig. Bis dato müssen die Grenzen „müheless“ und „extrem anstrengend“ durch die Versuchspersonen oder durch die Pegelbegrenzungen erreicht werden. Jedoch kann der Fall eintreten, dass die Versuchspersonen die präsentierte Hörsituation nicht mit „müheless“ bewerten, da für sie diese Situation immer mit einer Anstrengung verbunden ist. Ebenfalls kann es vorkommen, dass durch das Nichterreichen der Grenze „müheless“ der Pegel weiter ansteigt und die Anstrengung in dieser Situation aufgrund des zu hohen Pegels dann auch wieder ansteigt. Für diese Fälle muss der Implementierung zukünftig ein Abbruchkriterium hinzugefügt werden. Im Anschluss wäre eine weitere Testreihe z. B. mit Cochlea-Implantat- oder BAHA-Trägern (BAHA: knochenverankerte Hörgeräte) interessant und lohnenswert. Vor allem die Wahl des Startpegels ist eine entscheidende Frage, wenn ein Messverfahren für verschiedene Versuchspersonengruppen einsetzbar sein soll. Aus diesem Grund wurde der Einfluss der Startpegel untersucht. Es zeigte sich, dass die Versuchspersonen in der Lage waren, ähnliche Bewertungen unabhängig vom Startpegel abzugeben. Somit kann je nach Versuchspersonengruppe der Startpegel individuell gewählt werden. Dies ermöglicht eine Vergleichbarkeit der ermittelten Ergebnisse und erleichtert die Umsetzung z. B. von Hörgerätestudien mit Versuchspersonen, die unterschiedliche Hörverlustgrade aufweisen.

Ein wichtiges Bewertungskriterium für ein neues Messverfahren ist die Test-Retest-Reliabilität. Die Versuchspersonen führten die Messungen mehrfach durch (Normalhörende an drei Terminen; Schwerhörige an zwei Terminen). Dabei zeigte sich, dass die Versuchspersonen in der Lage waren, ähnliche Bewertungen in der Test- und Retest-Bedingung für die verwendeten Maskierer abzugeben. Interessant wäre jedoch, ob eine Verlängerung des Trainings eine höhere Test-Retest-Reliabilität und genauere Ergebnisse ermöglicht. In der vorliegenden Studie wurden die Höranstrengungsmessungen über Kopfhörer und Lautsprecher ( $S_0N_0$ -Kondition) durchgeführt. Vorstellbar ist auch eine Umsetzung der Messungen in der Wellenfeldsynthese (WFS). Dadurch können alltagsnahe Hörsituationen, wie z. B. am Bahnhof, in der Kirche oder in einem Konferenzraum, gestaltet werden. Insgesamt kann festgehalten werden, dass durch die individuelle Wählbarkeit des Testmaterials und der Maskierer sowie der Präsentationsart die adaptive Höranstrengungsskalierung vielseitig einsetzbar ist. Die Messungen sind schnell und leicht durchzuführen und sowohl für Laborstudien als auch für Hörgeräteanpassungen verwendbar.

## 7. Anhang A: Instruktionen für Sprach- und Höranstrengungsmessungen

### 7.1 Instruktion für die Höranstrengungsmessung

#### Instruktion

Dies ist ein Test, um zu untersuchen, wie anstrengend Sie verschiedene Hörsituationen empfinden.

Hierzu werden Ihnen jeweils drei Sätze nacheinander vorgespielt, die Sie jedoch nicht nachsprechen brauchen. Zusätzlich zur Sprache wird Ihnen ein Störgeräusch dargeboten. Bitte hören Sie sich die Sätze gut an und bewerten Sie anschließend, wie anstrengend es für Sie war, dem Sprecher zu folgen.

Für die Bewertung drücken Sie bitte die entsprechende Taste auf der Skala, die von „mühe los“ bis „extrem anstrengend“ reicht. Sie können dabei das Wort selber, aber auch die Zwischenschritte auswählen. Eine Hörsituation kann z. B. als „mühe los“ angesehen werden, wenn Sie dem Sprecher ohne Mühe über einen längeren Zeitraum folgen können. Alle Tasten zur Bewertung werden erst freigeschaltet, wenn Ihnen die drei Sätze komplett präsentiert worden sind.

extrem anstrengend
===
sehr anstrengend
===
deutlich anstrengend
===
mittelgradig anstrengend
===
wenig anstrengend
===
sehr wenig anstrengend
===
mühe los

Während der Messung wird die Sprache in der Lautstärke verändert, sodass unterschiedlich anstrengende Hörsituationen entstehen.

Bitte bewerten Sie nicht, wie gut Sie die Sätze *verstehen* können, sondern wie *anstrengend* Sie die Hörsituation wahrnehmen.

Es gibt keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten. Entscheidend ist, wie Sie die Situation empfinden.

Haben Sie noch Fragen?

*Abb. A7-1: Schriftliche Instruktion bei Verwendung der 13-stufigen Skala*

## Instruktion

Dies ist ein Test, um zu untersuchen, wie anstrengend Sie verschiedene Hörsituationen empfinden.

Hierzu werden Ihnen jeweils drei Sätze nacheinander vorgespielt, die Sie jedoch nicht nachsprechen brauchen. Zusätzlich zur Sprache wird Ihnen ein Störgeräusch dargeboten. Bitte hören Sie sich die Sätze gut an und bewerten Sie anschließend, wie anstrengend es für Sie war, dem Sprecher zu folgen.

Für die Bewertung drücken Sie bitte die entsprechende Taste auf der Skala, die von „mühe los“ bis „extrem anstrengend“ reicht. Sie können dabei das Wort selber, aber auch die Zwischenschritte auswählen. Eine Hörsituation kann z. B. als „mühe los“ angesehen werden, wenn Sie dem Sprecher ohne Mühe über einen längeren Zeitraum folgen können. Alle Tasten zur Bewertung werden erst freigeschaltet, wenn Ihnen die drei Sätze komplett präsentiert worden sind.

nur Störgeräusch
extrem anstrengend
===
sehr anstrengend
===
deutlich anstrengend
===
mittelgradig anstrengend
===
wenig anstrengend
===
sehr wenig anstrengend
===
mühe los

Während der Messung wird die Sprache in der Lautstärke verändert, sodass unterschiedlich anstrengende Hörsituationen entstehen. Falls Sie keine Sprache mehr wahrnehmen sollten, drücken Sie bitte „nur Störgeräusch“.

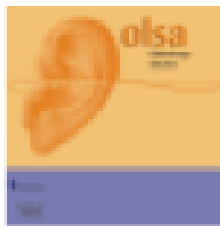
Bitte bewerten Sie nicht, wie gut Sie die Sätze *verstehen* können, sondern wie *anstrengend* Sie die Hörsituation wahrnehmen.

Es gibt keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten. Entscheidend ist, wie Sie die Situation empfinden.

Haben Sie noch Fragen?

Abb. A7-2: Schriftliche Instruktion bei Verwendung der 14-stufigen Skala

## 7.2 Instruktion für die Sprachverständlichkeitsmessung



### Versuchsanleitung zum Sprachverstehen (Olsa)

Bei diesem Experiment werden Ihnen 20 bzw. 30 Sätze dargeboten. Die Sätze werden von einer männlichen Stimme gesprochen.

Jeder Satz besteht aus 5 Wörtern der Struktur:

Name	Verb	Zahl	Adjektiv	Objekt
z. B. Ulrich	schenkt	sieben	schwere	Sessel

Die Sätze ergeben nicht unbedingt einen Sinn. Zusätzlich zu der Sprache wird ein Rauschen dargeboten.

Bitte wiederholen Sie nach der Darbietung eines Satzes **jedes** einzelne Wort, welches Sie verstanden haben. Sie dürfen gerne auch raten.

Während der Messung wird die Sprache in der Lautstärke verändert. Wenn Sie nicht so viel verstehen, wird der Sprecher lauter. Wenn Sie allerdings viel verstehen, wird der Sprecher leiser. Lassen Sie sich dadurch nicht entmutigen. Für die Aussagekraft der Messung ist es wichtig, unter schwierigen Bedingungen zu messen.

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!**

Abb. 7-3: Schriftliche Instruktion für die Sprachverständlichkeitsmessung



## 8. Anhang B: Höranstrengungs-Fragebogen

Bitte machen Sie zuerst die Angaben zur Nutzung von Hörgeräten und beantworten Sie dann bitte die anderen Fragen zum Hören.

**Ihr Name:**

**Datum:**

**Ihr Alter in Jahren:**

**Bitte kreuzen Sie eine der Angaben an:**

Ich trage **kein** Hörgerät

Ich trage **zwei** Hörgeräte (beide Ohren)

Ich trage **ein** Hörgerät (linkes Ohr)

Ich trage **ein** Hörgerät (rechtes Ohr)

Wenn Sie (ein) Hörgerät(e) tragen, wie lange?

\_\_\_\_\_ Jahre \_\_\_\_\_ Monate oder \_\_\_\_\_ Wochen

*Wenn Sie zwei Hörgeräte unterschiedlich lange tragen, notieren Sie dies bitte!*

### “Höranstrengung – Fragebogen, International“: (Version 3.0)

Die folgenden Fragen betreffen Ihre Erfahrungen mit der **Höranstrengung** in verschiedenen Situationen.

Für jede Frage machen Sie bitte auf einer Skala von 0 bis 10 ein Kreuz (x).

Wenn Sie die „10“ ankreuzen, bedeutet dies, dass Sie **extreme Anstrengung** verspüren, diese Situation zu bewältigen. Wenn Sie die „0“ ankreuzen, bedeutet dies, dass Sie in dieser Situation **keine Anstrengung** empfinden.

Beachten Sie bitte, dass es in diesem Fragebogen um die Höranstrengung geht.

Es wird **NICHT** gefragt, ob Sie in einer Situation gut oder schlecht hören. Um zu bestimmen, ob eine Situation anstrengend ist, beurteilen Sie, ob Sie sich stark konzentrieren müssen, um in ihr zu hören.

Wir erwarten, dass alle Fragen für Ihr Alltagsleben relevant sind. Wenn aber in einer Frage eine Situation beschrieben wird, die Sie nicht betrifft oder die Sie nicht kennen, machen Sie bitte ein Kreuz bei „**Situation kommt nicht vor**“ und fahren Sie mit der nächsten Situation fort.

Notieren Sie bitte auch, ob Sie in den beschriebenen Situationen ein Hörgerät tragen oder nicht.

<p><b>1.</b> Sie nehmen an einer wichtigen Besprechung mit einer kleinen Gruppe teil. Der Raum ist ruhig und Sie folgen den wechselnden Gesprächen.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, den Gesprächen zu folgen?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>
<p><b>2.</b> Sie stehen an einem Bahnsteig in einem halligen, aber ruhigen Bahnhof. Es erfolgt eine verzerrte Lautsprecheransage.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, der Ansage zu folgen?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>
<p><b>3.</b> Sie sind zu Hause und hören gerade ihre Lieblingsmusik. Mit Ausnahme der Musik ist der Raum ruhig.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, die verschiedenen Instrumente zu unterscheiden?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>

<p>4. Sie treffen sich mit einem oder zwei Freunden in einem Café. Sie können alle Beteiligten sehen.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <hr/> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, der Unterhaltung zu folgen?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>
<p>5. Sie stehen an einer stark befahrenen Hauptstraße. Eine Ihnen bekannte Person spricht Sie mit lauter/deutlicher Stimme an.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <hr/> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, die Person zu verstehen?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>
<p>6. Sie sprechen mit zwei Personen in einer ruhigen Umgebung. Beide Personen antworten Ihnen hintereinander.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <hr/> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, sich das Gesagte zu merken und beiden zu antworten?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>

<p>7. Ein Kind mit einer hohen Stimme spricht in einer unruhigen Situation schnell mit Ihnen. Sie haben dabei keinen Blickkontakt.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, das Kind zu verstehen?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>
<p>8. Eine Ihnen bekannte Person spricht Sie zu Hause aus einem geöffneten Nebenzimmer an, ohne dass Sie diese sehen können.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, die Person zu verstehen?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>
<p>9. Sie sind zu Hause und sehen gerade eine Nachrichtensendung. Ansonsten ist der Raum ruhig.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p> <p>Nutzen Sie in dieser Situation Zubehör (z. B. Induktionsschleife, Streamer, Kopfhörer oder Headsets)</p> <p>Ja <input type="checkbox"/> <b>Nein</b> <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, dem Nachrichtensprecher zu folgen?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>

<p><b>10.</b> Sie sehen sich zu Hause einen Film an und verfolgen die Sprache der Schauspieler, welche gleichzeitig mit Musik untermalt ist.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <hr/> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p> <p>Nutzen Sie in dieser Situation Zubehör (z. B. Induktionsschleife, Streamer, Kopfhörer oder Headsets)</p> <p>Ja <input type="checkbox"/> <b>Nein</b> <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, der Sprache im Film zu folgen?</p> <p style="text-align: center;"> <i>Nicht anstrengend</i>      <i>Extrem anstrengend</i>                0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10         </p>
<p><b>11.</b> Sie treffen sich mit mehr als drei Freunden in einem belebten Restaurant. Sie können alle Beteiligten sehen.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <hr/> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, den wechselnden Unterhaltungen zu folgen?</p> <p style="text-align: center;"> <i>Nicht anstrengend</i>      <i>Extrem anstrengend</i>                0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10         </p>

<p><b>12.</b> Sie unterhalten sich mit einem Kassierer/einer Kassiererin in einem belebten, großen Supermarkt.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <hr/> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, dem Kassierer/der Kassiererin zu folgen?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>
<p><b>13.</b> Sie sprechen zwei Personen in einer ruhigen Umgebung an. Beide Personen antworten Ihnen gleichzeitig. Sie versuchen, das Gesagte von jeder Person gleichzeitig zu verstehen.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <hr/> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist diese Situation für Sie?</p> <p>Nicht anstrengend</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>Extrem anstrengend</p>

<p><b>14.</b> Während der Hausarbeit (z. B. Staubsaugen, Spülmaschine ein-/ausräumen) unterhalten Sie sich mit einer/einem Bekannten.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <hr/> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, die Unterhaltung zu führen?</p> <p style="text-align: center;"> <i>Nicht anstrengend</i>      <i>Extrem anstrengend</i>                0    1    2    3    4    5    6    7    8    9    10         </p>
<p><b>15.</b> Sie führen draußen ein Telefonat mit einem Mobiltelefon mit einem Familienmitglied. Die Klangqualität ist schlecht.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <hr/> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p> <p>Nutzen Sie in dieser Situation Zubehör (z. B. Induktionsschleife oder Streamer) oder streamen Sie das Signal vom Smartphone direkt in die Hörgeräte?    Ja <input type="checkbox"/>    Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, das Telefonat zu führen?</p> <p style="text-align: center;"> <i>Nicht anstrengend</i>      <i>Extrem anstrengend</i>                0    1    2    3    4    5    6    7    8    9    10         </p>



<p><b>16.</b> Sie fahren Auto mit eingeschalteter Klimaanlage oder Lüftung mittlerer Stufe. Ihr Beifahrer spricht mit Ihnen.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <hr/> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, dem Beifahrer zu folgen?</p> <p style="text-align: center;"> <i>Nicht anstrengend</i>      <i>Extrem anstrengend</i>  </p>
<p><b>17.</b> Sie sind zu Hause und hören gerade Ihnen unbekannte Musik mit einer deutlich hörbaren Gesangsstimme. Mit Ausnahme der Musik ist der Raum ruhig.</p>	<p><input type="checkbox"/> Situation kommt nicht vor</p> <p>Dann weiter zur nächsten Situation</p> <hr/> <p>Tragen Sie in dieser Situation Ihre Hörgeräte? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Wie anstrengend ist es, dem Text der Musik zu folgen?</p> <p style="text-align: center;"> <i>Nicht anstrengend</i>      <i>Extrem anstrengend</i>  </p>

## 9. Anhang C: Ergebnisse der Pilotstudien

### 9.1 Pilotstudie I: Tonaudiogramm

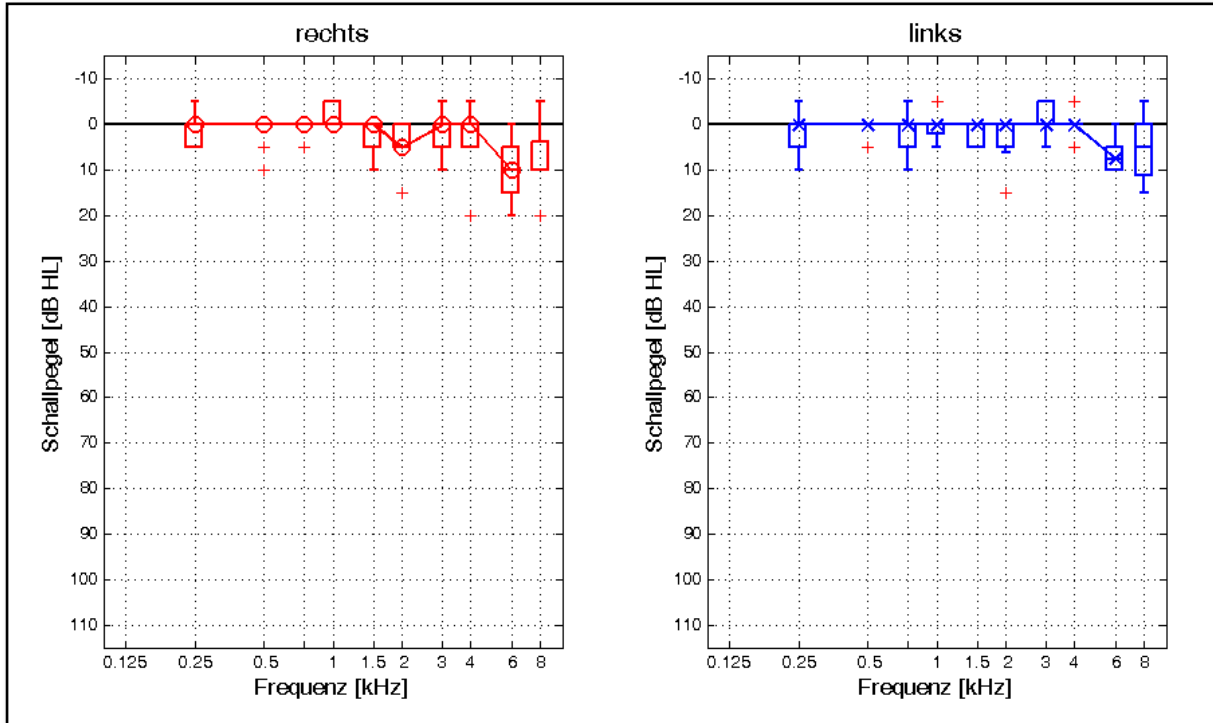


Abb. 9-1: Hörschwelle in dB HL für die normalhörenden Versuchspersonen (Pilotstudie 1)

### 9.2 Pilotstudie I: Vergleich der Skalen

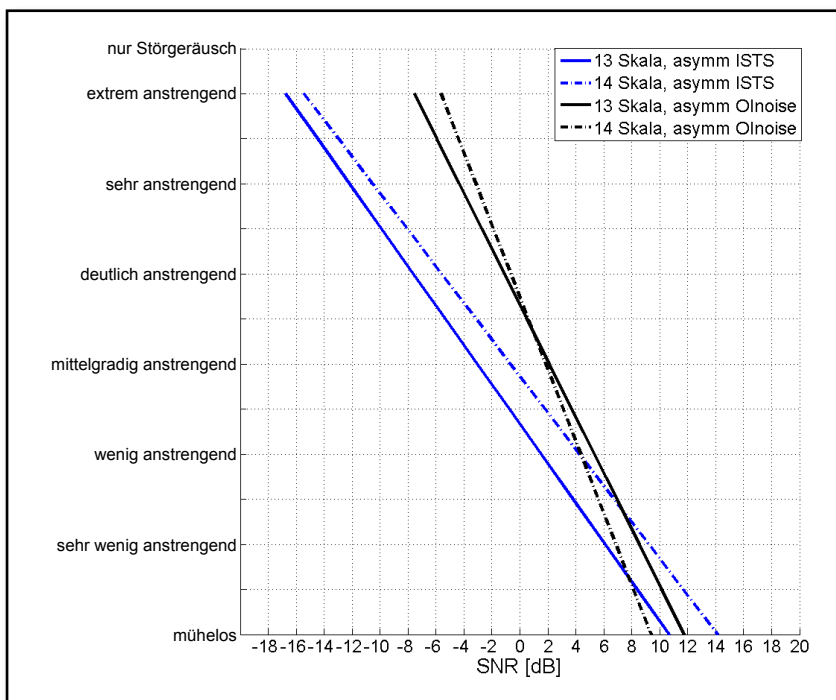


Abb. 9-2: Darstellung der Regressionsgeraden für die Maskierer ISTS (blaue Linien) und Olnoise (schwarze Linien) ermittelt unter Verwendung der asymmetrischen Schrittweite und der 13-stufigen (durchgezogene Linien) bzw. 14-stufigen Skala (gestrichelte Linien). Aufgetragen ist die Höranstrengung über den SNR in dB.

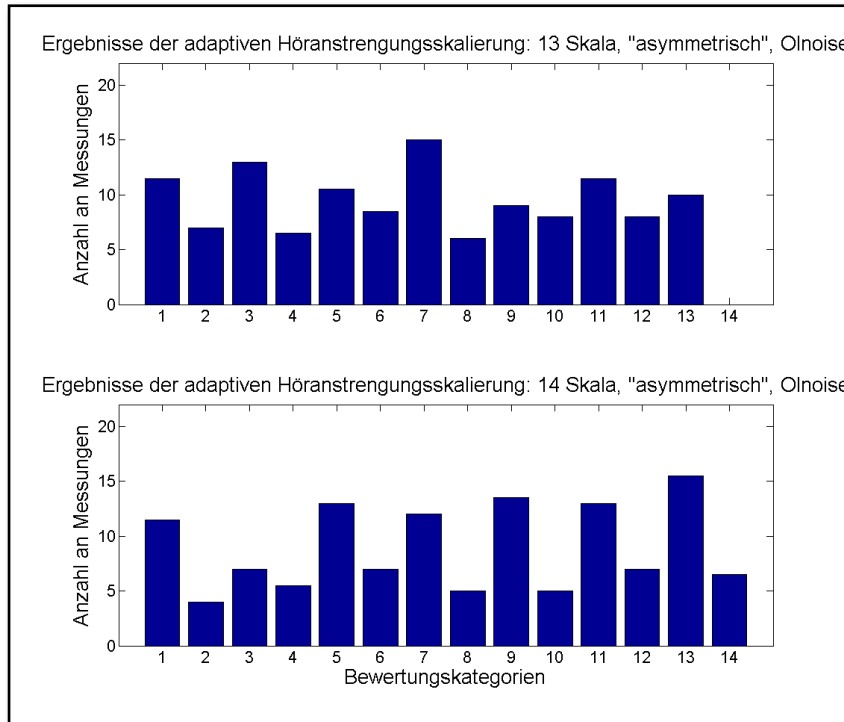


Abb. 9-3: Vergleich der Skalen mit Hilfe von Histogrammen. Die obere Teilgrafik beinhaltet die Ergebnisse für die 13-stufige Skala, die untere Teilgrafik die der 14-stufigen Skala. Dabei ist die Anzahl der Messpunkte in der jeweiligen Bewertungskategorie der Höranstrengung aufgetragen. Die Kategorie 1 repräsentiert „müheles“ und 14 „nur Störgeräusch“. Die Messdaten wurden für den Olnoise-Maskierer und die asymmetrische Schrittweite ermittelt.

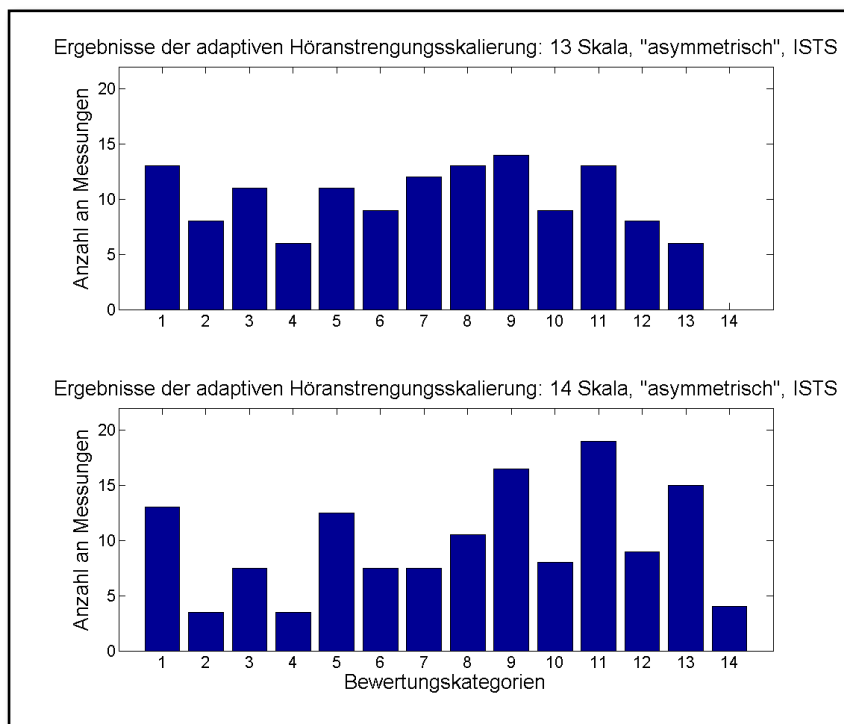


Abb. 9-4: Vergleich der Skalen mit Hilfe von Histogrammen. Die obere Teilgrafik beinhaltet die Ergebnisse für die 13-stufige Skala, die untere Teilgrafik die der 14-stufigen Skala. Dabei ist die Anzahl der Messpunkte in der jeweiligen Bewertungskategorie der Höranstrengung aufgetragen. Die Kategorie 1 repräsentiert „müheles“ und 14 „nur Störgeräusch“. Die Messdaten wurden für den ISTS-Maskierer und die asymmetrische Schrittweite ermittelt.

### 9.3 Pilotstudie I: Vergleich der Test-Retest-Bedingung

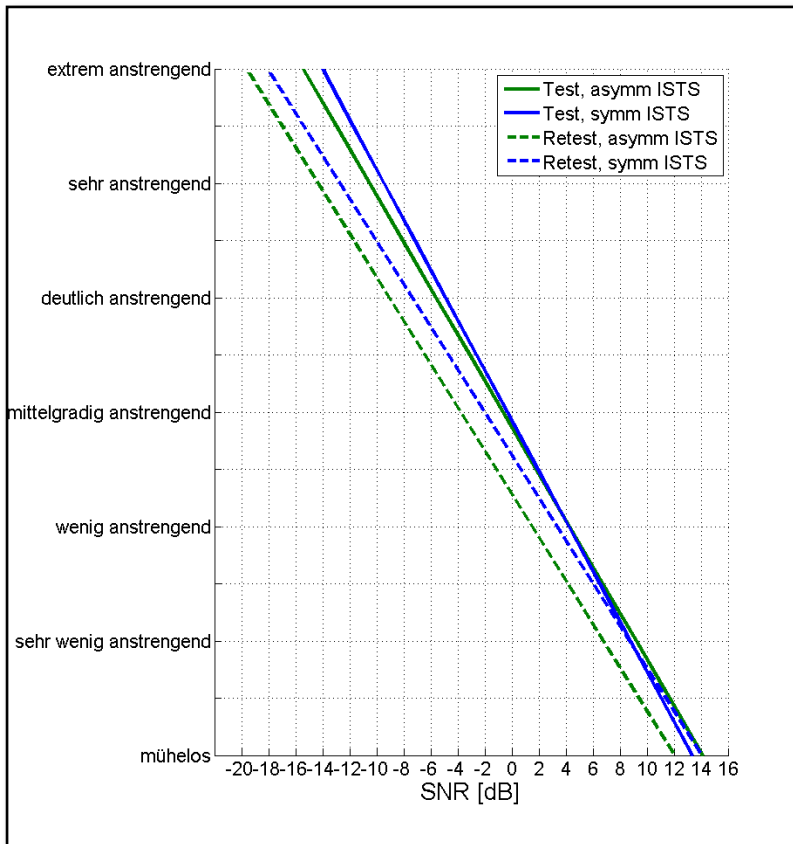


Abb. 9-5: Darstellung der Regressionsgeraden für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Bedingung (gestrichelte Linien) unter Verwendung des ISTS-Maskierers. Die Messdaten wurden unter Verwendung der asymmetrischen (grüne Linien) und symmetrischen Schrittweite (blaue Linien) sowie der 13-stufigen Skala ermittelt. Aufgetragen ist die Höranstrengung über dem SNR in dB.

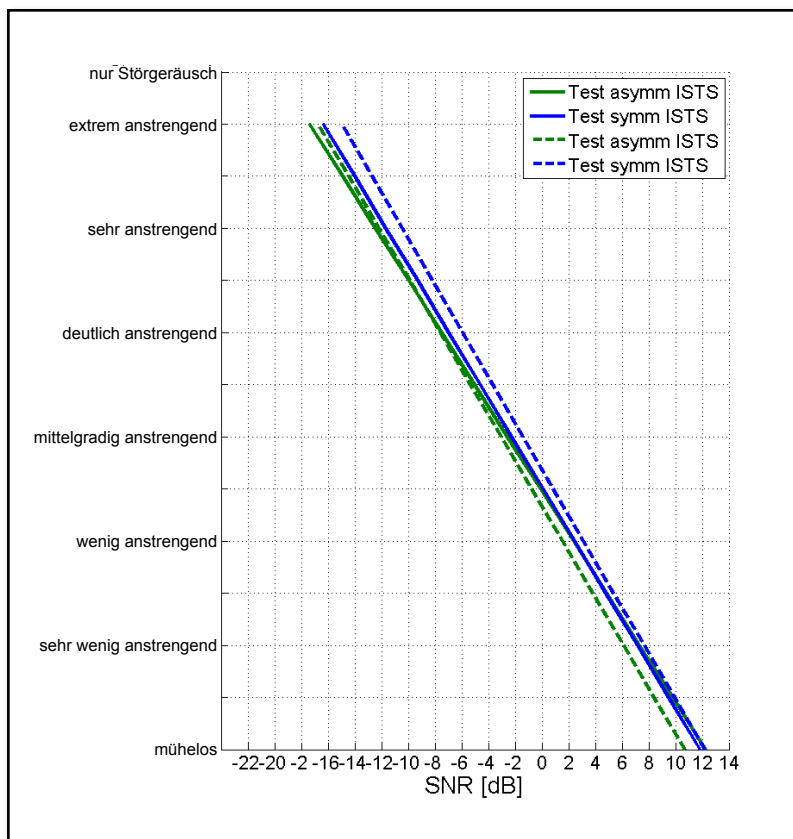


Abb. 9-6: Darstellung der Regressionsgeraden für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Bedingung (gestrichelte Linien) unter Verwendung des ISTS-Maskierers. Die Messdaten wurden unter Verwendung der asymmetrischen (grüne Linien) und symmetrischen Schrittweite (blaue Linien) sowie der 14-stufigen Skala ermittelt. Aufgetragen ist die Höranstrengung über dem SNR in dB.

## 9.4 Pilotstudie I: Spontane Kommentare

Die Versuchspersonen haben nach Beendigung der Messungen ihren Eindruck bei der Benutzung der Skalen verbal wiedergegeben. Die Versuchspersonen, die die 13-stufige Skala testeten, haben einstimmig angegeben, dass sie, auch wenn keine Sprache wahrnehmbar war, die Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ gewählt haben. Drei der fünf Versuchspersonen hätten sich einen eindeutigeren Button für diese Situation gewünscht. Die Versuchspersonen mit der 14-stufigen Bewertungsskala wurden um ihre Meinung bezüglich der Bewertungskategorie „nur Störgeräusch“ gebeten. Alle Versuchspersonen gaben dabei an, dass sie dies für sinnvoll halten und auch benutzten.

	<b>13-stufige Skala</b> Wie wurde bewertet, wenn keine Sprache wahrnehmbar war?	<b>Button gewünscht?</b> 1 = ja; 2 = nein	<b>14-stufige Skala</b> Wurde der Button „nur Störgeräusch“ genutzt und war dieser sinnvoll?
ER05RD08	extrem anstrengend	1	---
ER03NZ01	extrem anstrengend	2	---
NN06LF27	extrem anstrengend	2	---
EL06AS30	extrem anstrengend	1	---
GE05LF26	---	---	wurde genutzt und war hilfreich; Bezeichnung war eindeutig
OU04LF04	---	---	Button ist gut!!!
GA05LM28	---	---	wurde benutzt; Bezeichnung eindeutig
NK05RK11	---	---	wurde benutzt und war sinnvoll
ER04NZ02	extrem anstrengend	1	---
GR04RD17	---	---	Button ist sinnvoll

Tabelle 9-1: Spontane Kommentare der Versuchspersonen in Bezug auf die Verwendung der Skalen

### 9.5 Pilotstudie II: Vergleich adaptive und statische Methode

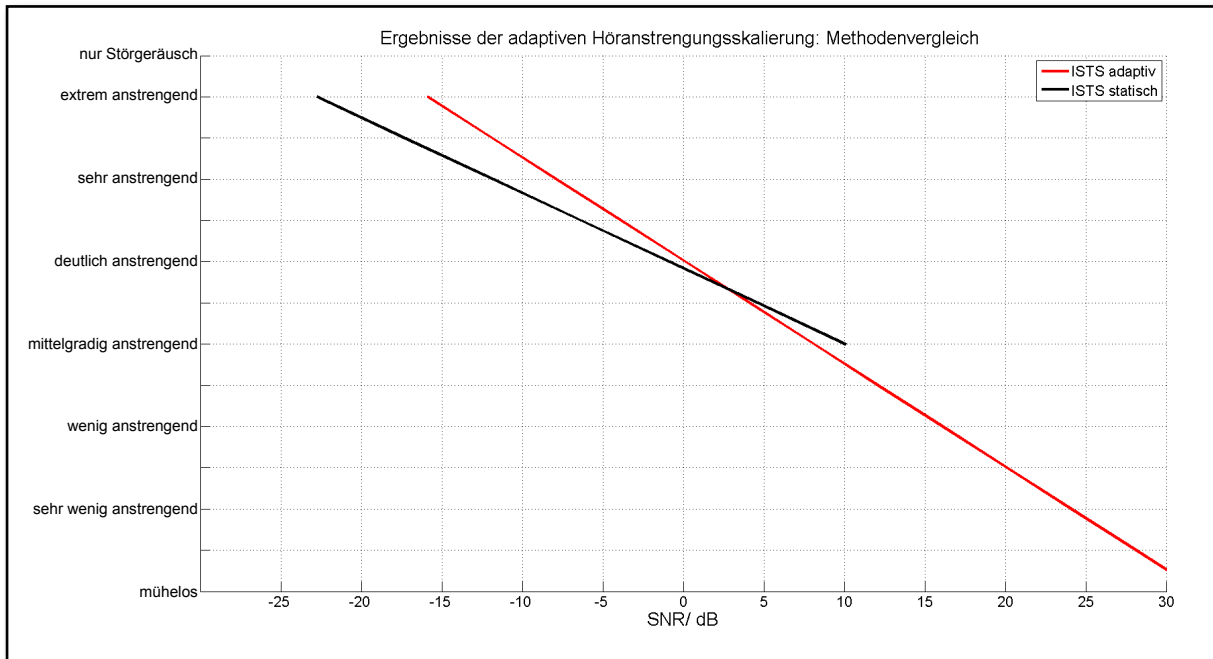


Abb. 9-7: Subjektive Höranstrengung einer Versuchsperson in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer ISTS unter Verwendung der adaptiven (rote Linie) und statischen Messmethode (schwarze Linie)

### 9.6 Ergebnisse der ANOVA: Olnoise

Innersubjektfaktoren		
Startpegel	Bewertungskategorien	Abhängige Variable
1	1	mühelessOlnoiseadaptiv60dB
	2	weniganstrengendOlnoiseadaptiv60dB
	3	mittelgradigOlnoiseadaptiv60dB
	4	extremOlnoiseadaptiv60dB
2	1	mühelessOlnoiseadaptiv65dB
	2	weniganstrengendOlnoiseadaptiv65dB
	3	mittelgradigOlnoiseadaptiv65dB
	4	extremOlnoiseadaptiv65dB
3	1	mühelessOlnoiseadaptiv70dB
	2	weniganstrengendOlnoiseadaptiv70dB
	3	mittelgradigOlnoiseadaptiv70dB
	4	extremOlnoiseadaptiv70dB
4	1	mühelessOlnoiseadaptiv75dB
	2	weniganstrengendOlnoiseadaptiv75dB
	3	mittelgradigOlnoiseadaptiv75dB
	4	extremOlnoiseadaptiv75dB

Mauchly-Test auf Sphärizität <sup>a</sup>							
Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Näherungsweise Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon <sup>b</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt (HF)	Untergrenze
Startpegel	,206	12,206	5	,033	,542	,644	,333
Höranstrengung	0,000		5		,333	,333	,333
Startpegel * Höranstrengung	0,000		44		,232	,303	,111

Tests der Innersubjekteffekte							
Quelle		Typ III Quadratsumme	df	Quadratischer Mittelwert	F	Sig.	Partielles Eta hoch zwei
Startpegel	Angenommene Sphärizität	24,352	3	8,117	1,611	,210	,152
	Greenhouse-Geisser	24,352	1,625	14,983	1,611	,232	,152
	Huynh-Feldt (HF)	24,352	1,933	12,600	1,611	,228	,152
	Untergrenze	24,352	1,000	24,352	1,611	,236	,152
Fehler (Startpegel)	Angenommene Sphärizität	136,001	27	5,037			
	Greenhouse-Geisser	136,001	14,627	9,298			
	Huynh-Feldt (HF)	136,001	17,394	7,819			
	Untergrenze	136,001	9,000	15,111			
Höranstrengung	Angenommene Sphärizität	6716,296	3	2238,765	140,123	,000	,940
	Greenhouse-Geisser	6716,296	1,000	6716,296	140,123	,000	,940
	Huynh-Feldt (HF)	6716,296	1,000	6716,296	140,123	,000	,940
	Untergrenze	6716,296	1,000	6716,296	140,123	,000	,940
Fehler (Höranstrengung)	Angenommene Sphärizität	431,384	27	15,977			
	Greenhouse-Geisser	431,384	9,000	47,932			
	Huynh-Feldt (HF)	431,384	9,000	47,932			
	Untergrenze	431,384	9,000	47,932			
Startpegel * Höranstrengung	Angenommene Sphärizität	10,390	9	1,154	1,256	,274	,122
	Greenhouse-Geisser	10,390	2,085	4,982	1,256	,309	,122
	Huynh-Feldt (HF)	10,390	2,727	3,811	1,256	,310	,122
	Untergrenze	10,390	1,000	10,390	1,256	,291	,122



Fehler (Startpegel * Hör- anstrengung)	Angenommene Sphärizität	74,451	81	,919			
	Greenhouse- Geisser	74,451	18,768	3,967			
	Huynh-Feldt (HF)	74,451	24,540	3,034			
	Untergrenze	74,451	9,000	8,272			

## 9.7 Ergebnisse der ANOVA: ISTS

Innersubjektfaktoren		
Startpegel	Bewertungskategorien	Abhängige Variable
1	1	mühe los ISTS adaptiv 45 dB
	2	wenig anstrengend ISTS adaptiv 45 dB
	3	mittelgradig ISTS adaptiv 45 dB
	4	extrem ISTS adaptiv 45 dB
2	1	mühe los ISTS adaptiv 55 dB
	2	wenig anstrengend ISTS adaptiv 55 dB
	3	mittelgradig ISTS adaptiv 55 dB
	4	extrem ISTS adaptiv 55 dB
3	1	mühe los ISTS adaptiv 65 dB
	2	wenig anstrengend ISTS adaptiv 65 dB
	3	mittelgradig ISTS adaptiv 65 dB
	4	extrem ISTS adaptiv 65 dB
4	1	mühe los ISTS adaptiv 75 dB
	2	wenig anstrengend ISTS adaptiv 75 dB
	3	mittelgradig ISTS adaptiv 75 dB
	4	extrem ISTS adaptiv 75 dB

Mauchly-Test auf Sphärizität <sup>a</sup>							
Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Näherungs- weise Chi- Quadrat	df	Sig.	Epsilon <sup>b</sup>		
					Green- house- Geisser	Huynh- Feldt (HF)	Unter- grenze
Startpegel	,592	4,049	5	,545	,727	,969	,333
Höranstrengung	0,000		5		,333	,333	,333
Startpegel * Hör- anstrengung	0,000		44		,202	,250	,111

Tests der Innersubjekteffekte							
Quelle		Typ III Quadrat- summe	df	Quadra- tischer Mittelwert	F	Sig.	Partielles Eta hoch zwei
Startpegel	Angenommene Sphärizität	61,444	3	20,481	1,938	,147	,177
	Greenhouse- Geisser	61,444	2,182	28,158	1,938	,168	,177
	Huynh-Feldt (HF)	61,444	2,907	21,135	1,938	,150	,177
	Untergrenze	61,444	1,000	61,444	1,938	,197	,177
Fehler (Startpegel)	Angenommene Sphärizität	285,370	27	10,569			
	Greenhouse- Geisser	285,370	19,639	14,531			
	Huynh-Feldt (HF)	285,370	26,164	10,907			
	Untergrenze	285,370	9,000	31,708			
Höranstrengung	Angenommene Sphärizität	21553,897	3	7184,632	144,272	,000	,941
	Greenhouse- Geisser	21553,897	1,000	21553,897	144,272	,000	,941
	Huynh-Feldt (HF)	21553,897	1,000	21553,897	144,272	,000	,941
	Untergrenze	21553,897	1,000	21553,897	144,272	,000	,941
Fehler (Höran- strengung)	Angenommene Sphärizität	1344,575	27	49,799			
	Greenhouse- Geisser	1344,575	9,000	149,397			
	Huynh-Feldt (HF)	1344,575	9,000	149,397			
	Untergrenze	1344,575	9,000	149,397			
Startpegel * Höranstrengung	Angenommene Sphärizität	16,418	9	1,824	,590	,801	,062
	Greenhouse- Geisser	16,418	1,816	9,042	,590	,550	,062
	Huynh-Feldt (HF)	16,418	2,249	7,301	,590	,582	,062
	Untergrenze	16,418	1,000	16,418	,590	,462	,062
Fehler (Start- pegel * Höran- strengung)	Angenommene Sphärizität	250,300	81	3,090			
	Greenhouse- Geisser	250,300	16,341	15,318			
	Huynh-Feldt (HF)	250,300	20,239	12,367			
	Untergrenze	250,300	9,000	27,811			

## 9.8 Ergebnisse der ANOVA: Adaptives und statisches Messverfahren für das Olnoise

Innersubjektfaktoren		
Messverfahren	Bewertungskriterium	Abhängige Variable
1	1	mühelosOlnoisestatisch
	2	weniganstrengendOlnoisestatisch
	3	mittelgradigOlnoisestatisch
	4	extremOlnoisestatisch
2	1	mühelosOlnoiseAdaptiv
	2	wenigAnstrengendOlnoiseAdaptiv
	3	mittelgradigOlnoiseAdaptiv
	4	ExtremOlnoiseAdaptiv

Mauchly-Test auf Sphärizität <sup>a</sup>							
Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Näherungsweise Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon <sup>b</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt (HF)	Untergrenze
Messverfahren	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
Höranstrengung	0,000		5		,333	,333	,333
Messverfahren * Höranstrengung	0,000		5		,333	,333	,333

Tests der Innersubjekteffekte							
Quelle		Typ III Quadratsumme	df	Quadratischer Mittelwert	F	Sig.	Partielles Eta hoch zwei
Messverfahren	Angenommene Sphärizität	7,765	1	7,765	,737	,413	,076
	Greenhouse-Geisser	7,765	1,000	7,765	,737	,413	,076
	Huynh-Feldt (HF)	7,765	1,000	7,765	,737	,413	,076
	Untergrenze	7,765	1,000	7,765	,737	,413	,076
Fehler (Messverfahren)	Angenommene Sphärizität	94,817	9	10,535			
	Greenhouse-Geisser	94,817	9,000	10,535			
	Huynh-Feldt (HF)	94,817	9,000	10,535			
	Untergrenze	94,817	9,000	10,535			

Höranstrengung	Angenommene Sphärizität	3306,118	3	1102,039	124,954	,000	,933
	Greenhouse-Geisser	3306,118	1,000	3306,118	124,954	,000	,933
	Huynh-Feldt (HF)	3306,118	1,000	3306,118	124,954	,000	,933
	Untergrenze	3306,118	1,000	3306,118	124,954	,000	,933
Fehler (Höranstrengung)	Angenommene Sphärizität	238,127	27	8,820			
	Greenhouse-Geisser	238,127	9,000	26,459			
	Huynh-Feldt (HF)	238,127	9,000	26,459			
	Untergrenze	238,127	9,000	26,459			
Messverfahren * Höranstrengung	Angenommene Sphärizität	,203	3	,068	,135	,938	,015
	Greenhouse-Geisser	,203	1,000	,203	,135	,722	,015
	Huynh-Feldt (HF)	,203	1,000	,203	,135	,722	,015
	Untergrenze	,203	1,000	,203	,135	,722	,015
Fehler (Messverfahren * Höranstrengung)	Angenommene Sphärizität	13,541	27	,502			
	Greenhouse-Geisser	13,541	9,000	1,505			
	Huynh-Feldt (HF)	13,541	9,000	1,505			
	Untergrenze	13,541	9,000	1,505			

## 9.9 Ergebnisse der ANOVA: Adaptives und statisches Messverfahren für das ISTS

Innersubjektfaktoren		
Messverfahren	Bewertungskategorien	Abhängige Variable
1	1	mühe los ISTS statisch
	2	wenig anstrengend ISTS statisch
	3	mittelgradig ISTS statisch
	4	extrem ISTS statisch
2	1	mühe los ISTS adaptiv
	2	wenig anstrengend ISTS adaptiv
	3	mittelgradig ISTS adaptiv
	4	extrem ISTS adaptiv

Mauchly-Test auf Sphärizität <sup>a</sup>							
Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Näherungsweise Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon <sup>b</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt (HF)	Untergrenze
Messverfahren	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
Höranstrengung	0,000		5		,333	,333	,333
Messverfahren * Höranstrengung	0,000		5		,333	,333	,333

Tests der Innersubjekteffekte							
Quelle		Typ III Quadratsumme	df	Quadratischer Mittelwert	F	Sig.	Partielles Eta hoch zwei
Messverfahren	Angenommene Sphärizität	6,208	1	6,208	,391	,547	,042
	Greenhouse-Geisser	6,208	1,000	6,208	,391	,547	,042
	Huynh-Feldt (HF)	6,208	1,000	6,208	,391	,547	,042
	Untergrenze	6,208	1,000	6,208	,391	,547	,042
Fehler (Messverfahren)	Angenommene Sphärizität	142,973	9	15,886			
	Greenhouse-Geisser	142,973	9,000	15,886			
	Huynh-Feldt (HF)	142,973	9,000	15,886			
	Untergrenze	142,973	9,000	15,886			
Höranstrengung	Angenommene Sphärizität	11527,052	3	3842,351	103,380	,000	,920
	Greenhouse-Geisser	11527,052	1,000	11527,052	103,380	,000	,920
	Huynh-Feldt (HF)	11527,052	1,000	11527,052	103,380	,000	,920
	Untergrenze	11527,052	1,000	11527,052	103,380	,000	,920
Fehler (Höranstrengung)	Angenommene Sphärizität	1003,515	27	37,167			
	Greenhouse-Geisser	1003,515	9,000	111,502			
	Huynh-Feldt (HF)	1003,515	9,000	111,502			
	Untergrenze	1003,515	9,000	111,502			

Messverfahren * Höranstrengung	Angenommene Sphärizität	12,617	3	4,206	1,383	,269	,133
	Greenhouse-Geisser	12,617	1,000	12,617	1,383	,270	,133
	Huynh-Feldt (HF)	12,617	1,000	12,617	1,383	,270	,133
	Untergrenze	12,617	1,000	12,617	1,383	,270	,133
Fehler (Messverfahren * Höranstrengung)	Angenommene Sphärizität	82,117	27	3,041			
	Greenhouse-Geisser	82,117	9,000	9,124			
	Huynh-Feldt (HF)	82,117	9,000	9,124			
	Untergrenze	82,117	9,000	9,124			

## 10. Anhang D: Ergebnisse der Hauptstudie

### 10.1 Tonaudiogramm

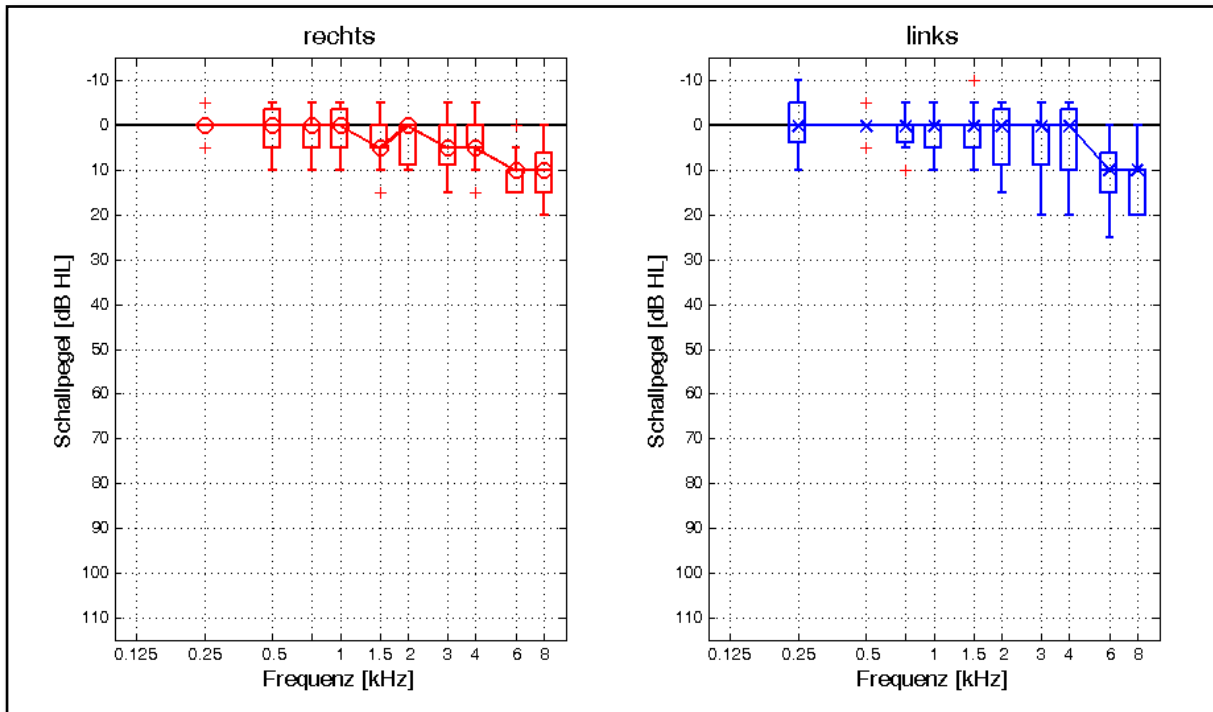


Abb. 10-1: Hörschwelle in dB HL für die normalhörenden Versuchspersonen

### 10.2 Sprachverständlichkeitsmessungen bei festen SNR-Werten

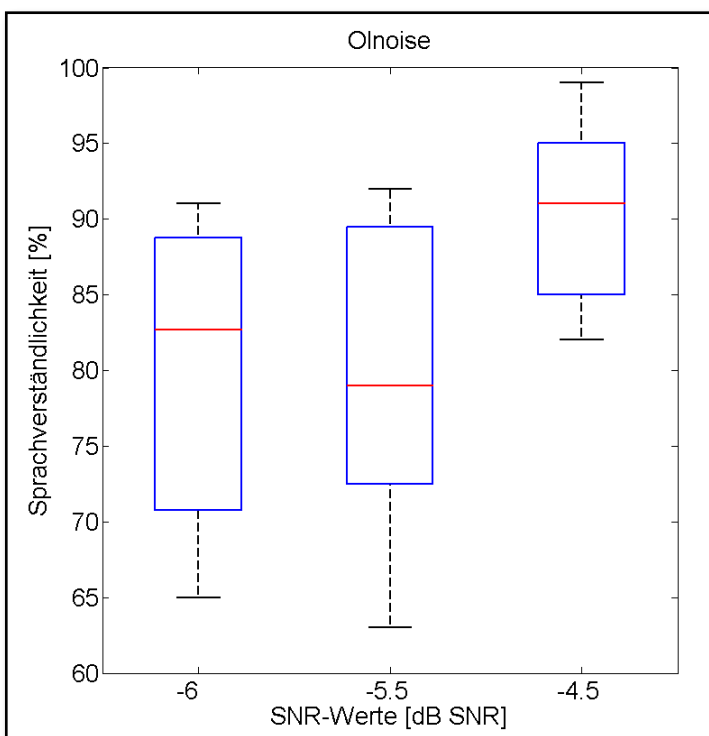


Abb. 10-2: Erzielte Sprachverständlichkeiten bei festen SNR-Werten für den Maskierer Olnoise. Gewünschtes Sprachverstehen betrug 70, 80 und 90 %.



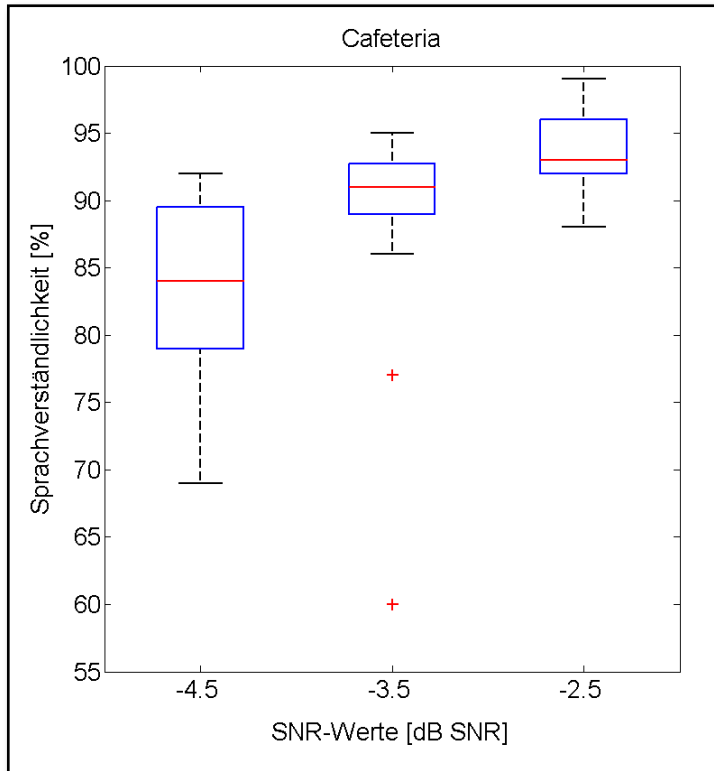


Abb. 10-3: Erzielte Sprachverständlichkeiten bei festen SNR-Werten für den Maskierer Cafeteria. Gewünschtes Sprachverstehen betrug 70, 80 und 90 %.

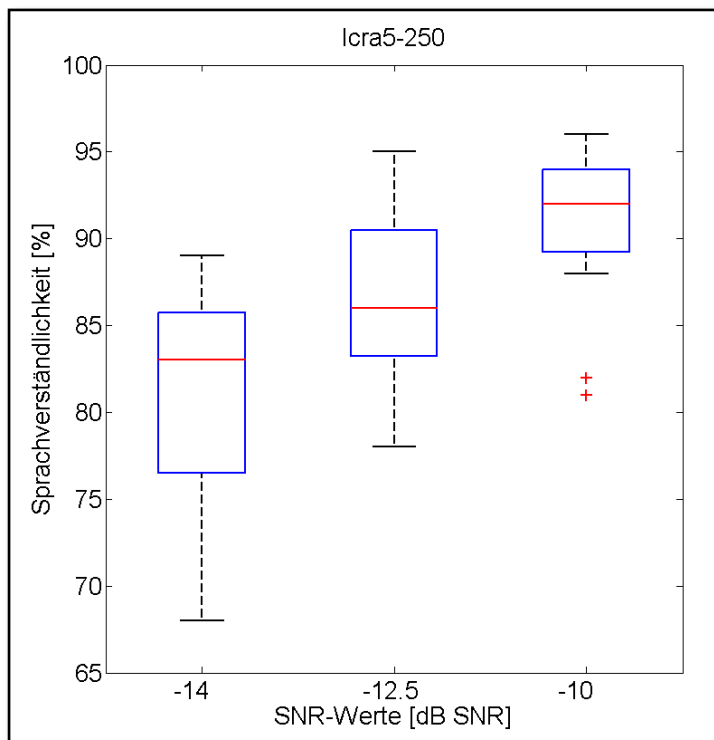


Abb. 10-4: Erzielte Sprachverständlichkeiten bei festen SNR-Werten für den Maskierer Icra5-250. Gewünschtes Sprachverstehen betrug 70, 80 und 90 %.

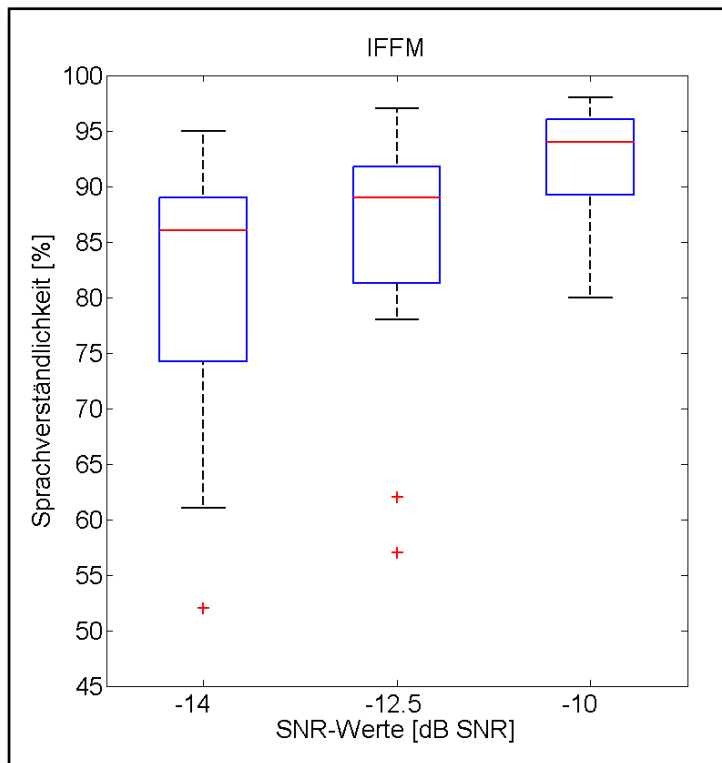


Abb. 10-5: Erzielte Sprachverständlichkeiten bei festen SNR-Werten für den Maskierer IFFM. Gewünschtes Sprachverstehen betrug 70, 80 und 90 %.

### 10.3 Normalhörende: Vergleich der Hintergrundrauschen

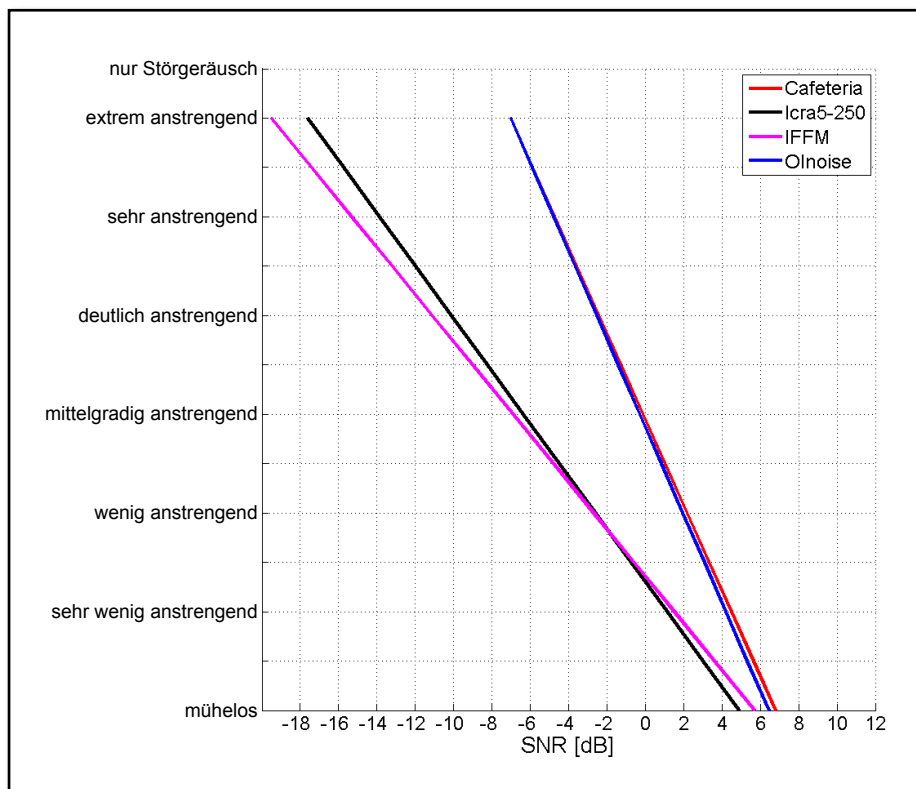


Abb. 10-6: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die vier Maskierer während des zweiten Messtermins

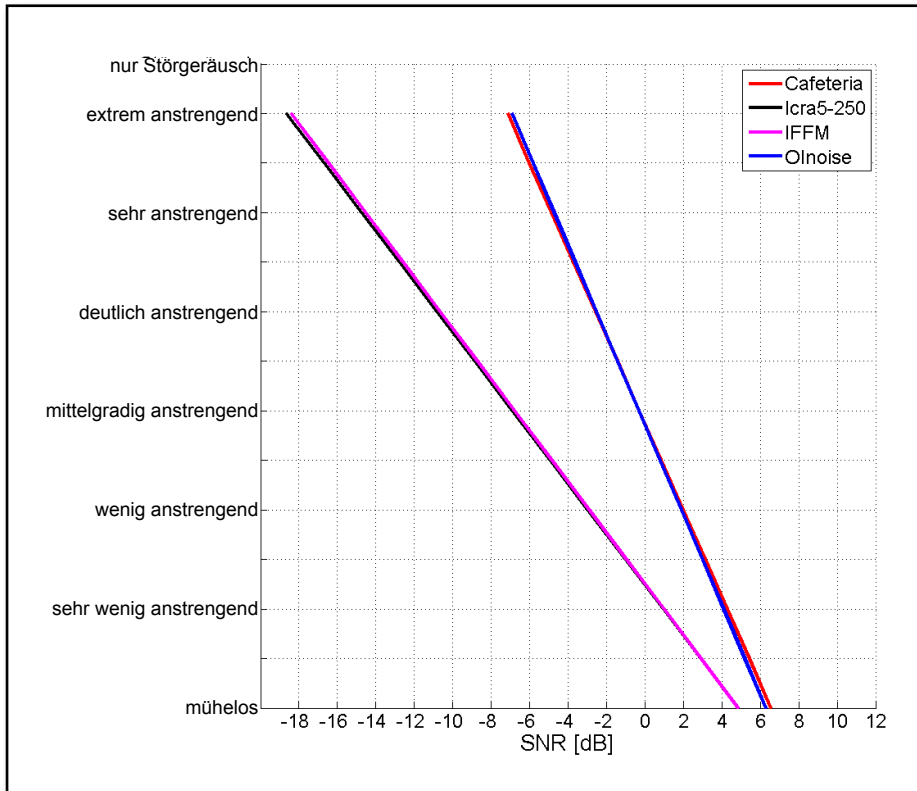


Abb. 10-7: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die vier Maskierer während des dritten Messtermins

### 10.4 Normalhörende: Test-Retest-Reliabilität

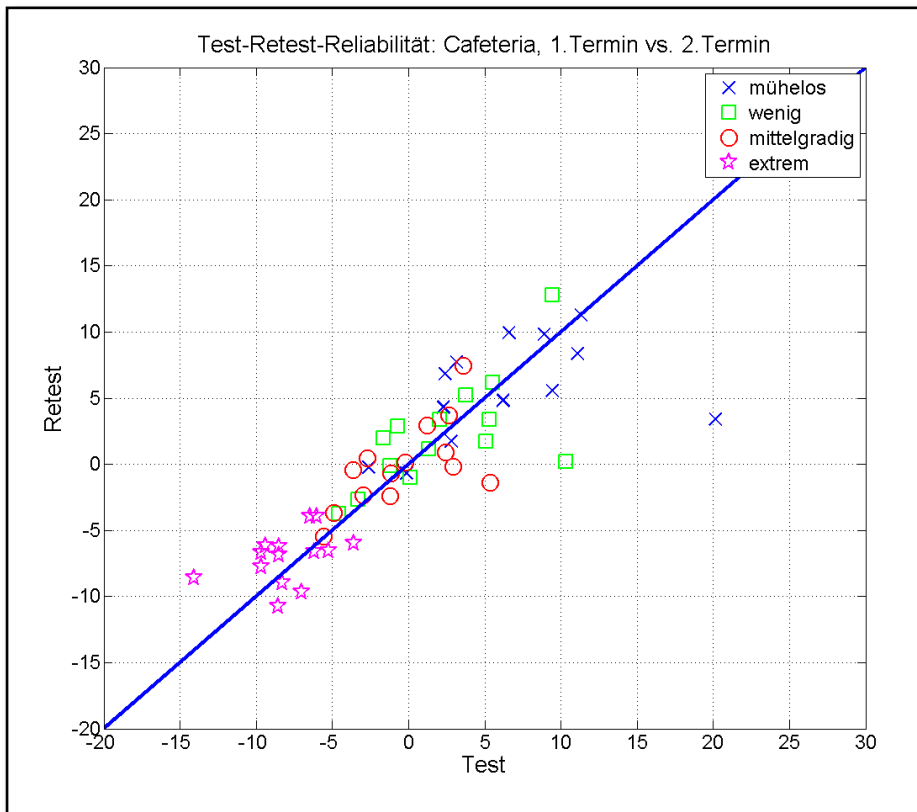


Abb. 10-8: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und zweiten Termins für den Cafeteria-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „mühe los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

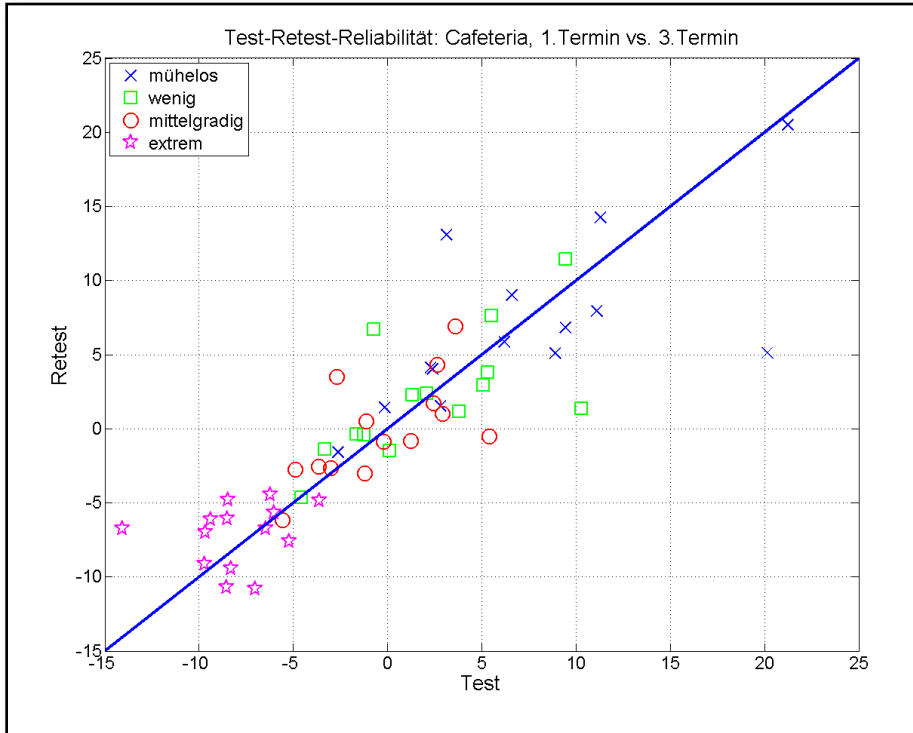


Abb. 10-9: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und dritten Termins für den Cafeteria-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „mühe los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

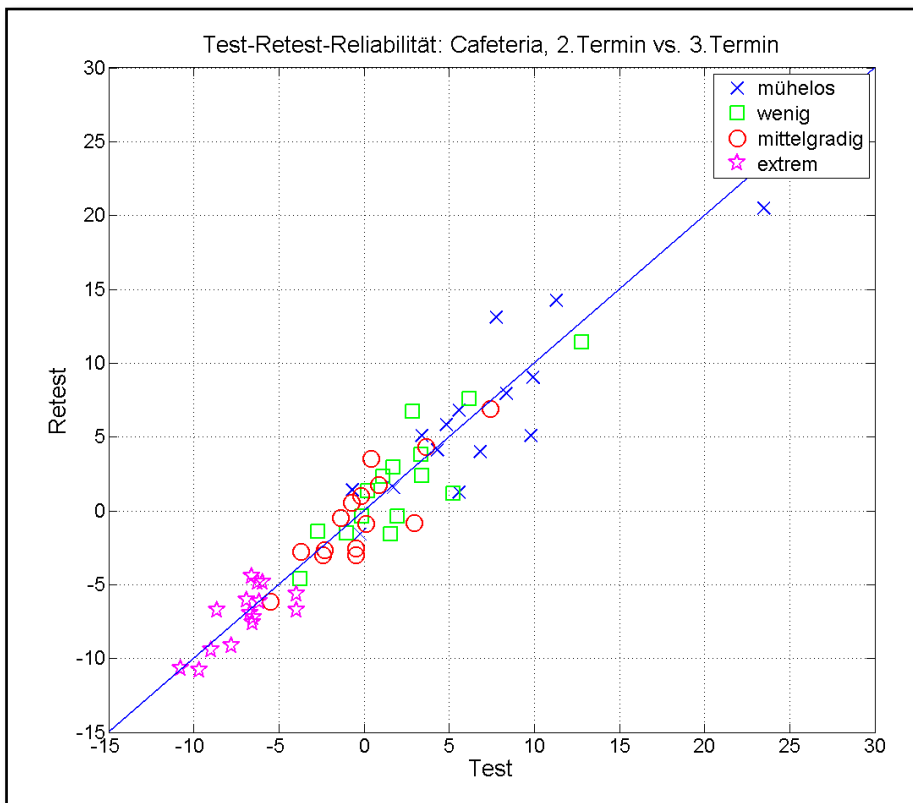


Abb. 10-10: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des zweiten und dritten Termins für den Cafeteria-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „mühe los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

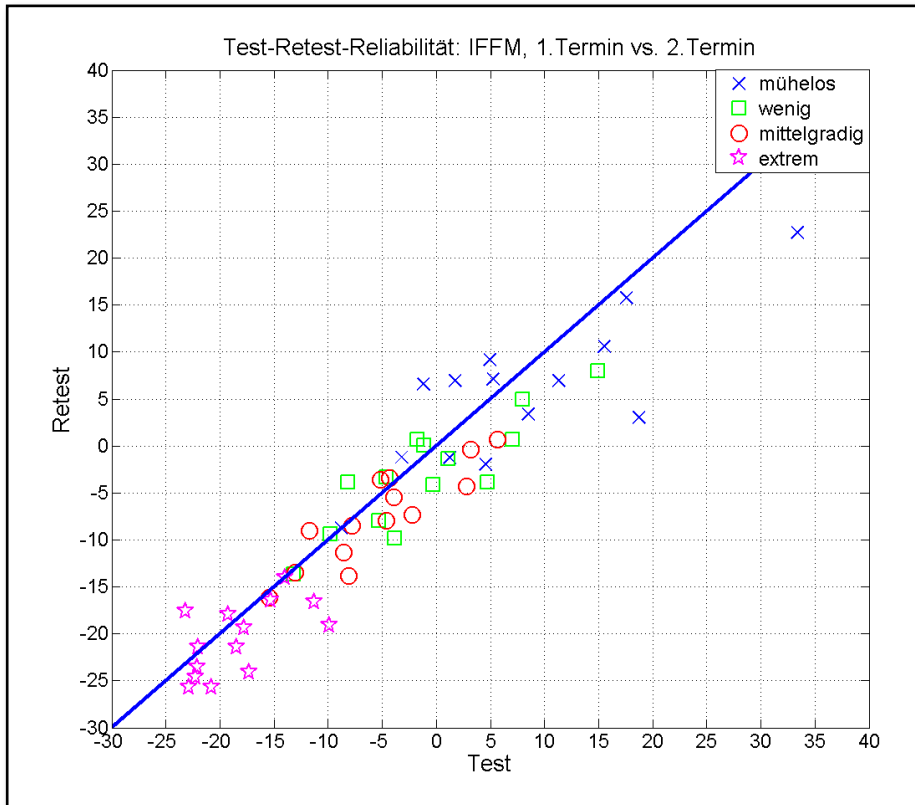


Abb. 10-11: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und zweiten Termins für den IFFM-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheelos“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

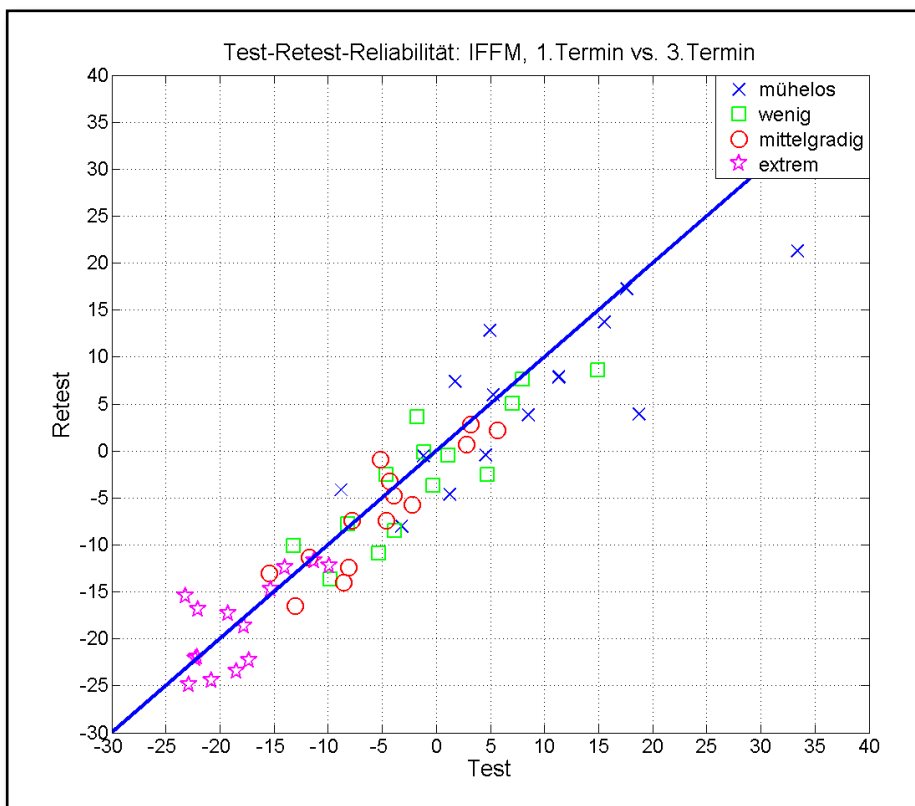


Abb. 10-12: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und dritten Termins für den IFFM-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheelos“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

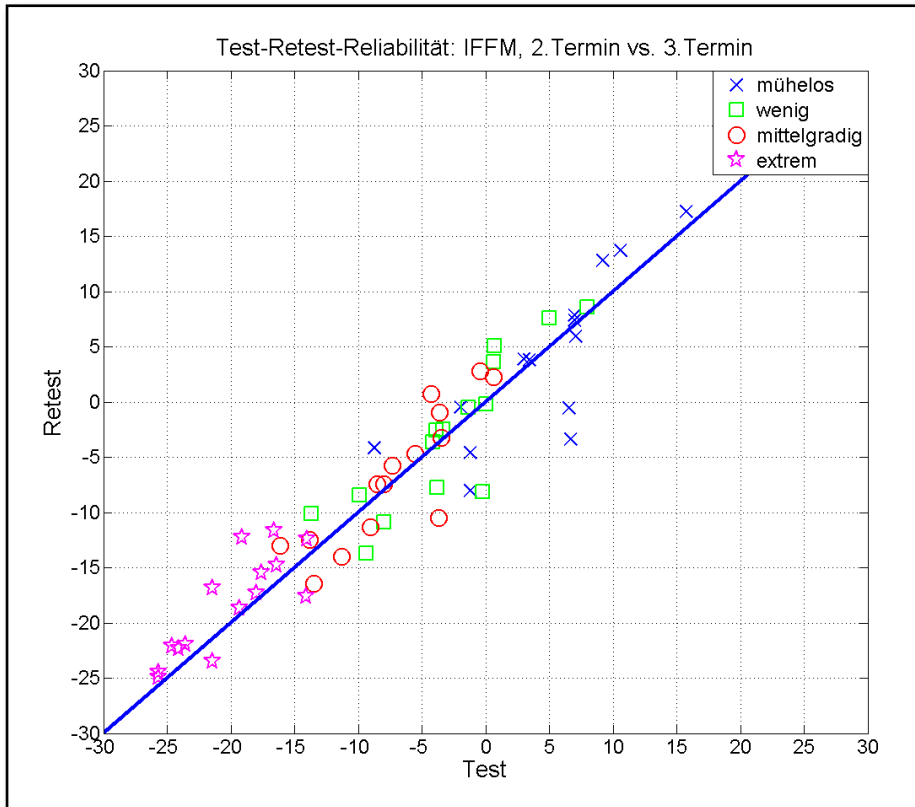


Abb. 10-13: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des zweiten und dritten Termins für den IFFM-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

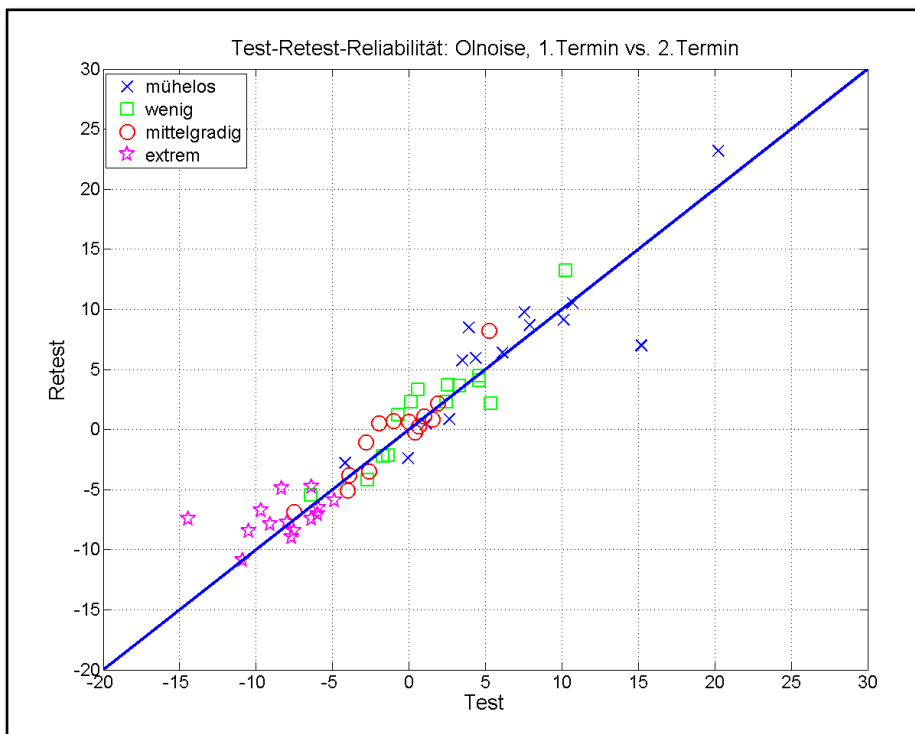


Abb. 10-14: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und zweiten Termins für den Olnoise-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

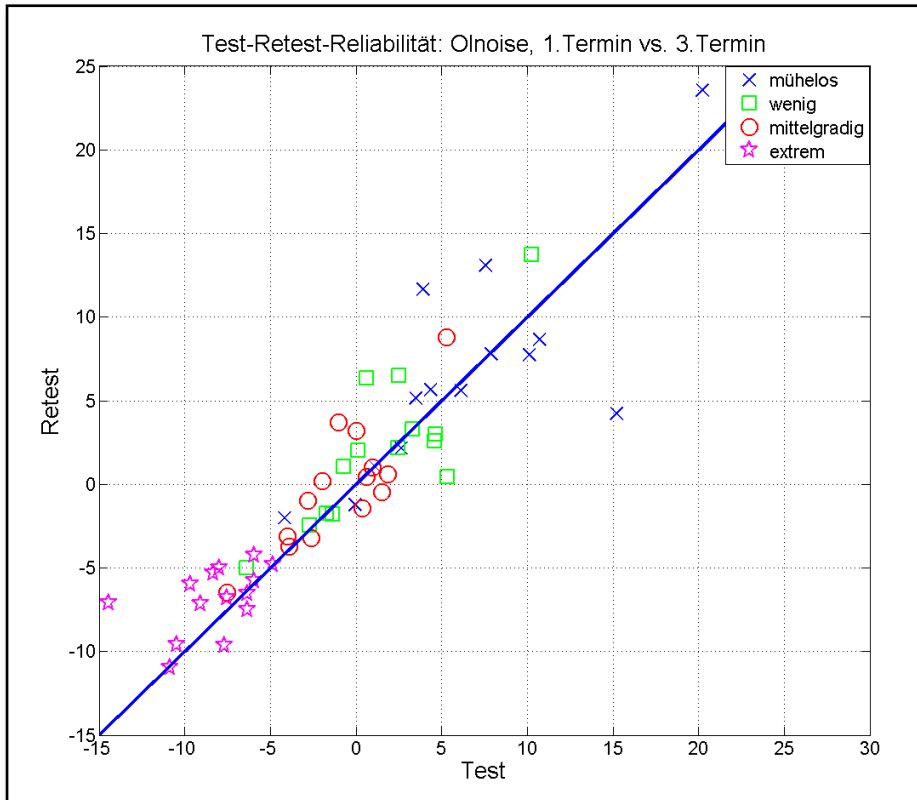


Abb. 10-15: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und dritten Termins für den Olnoise-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

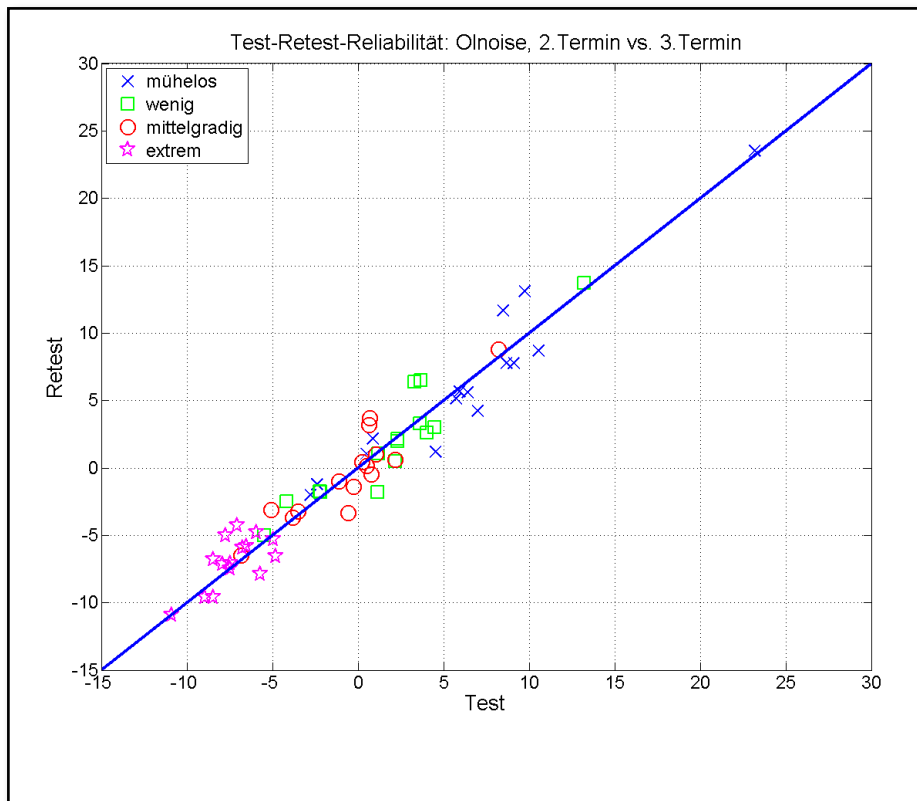


Abb. 10-16: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des zweiten und dritten Termins für den Olnoise-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.



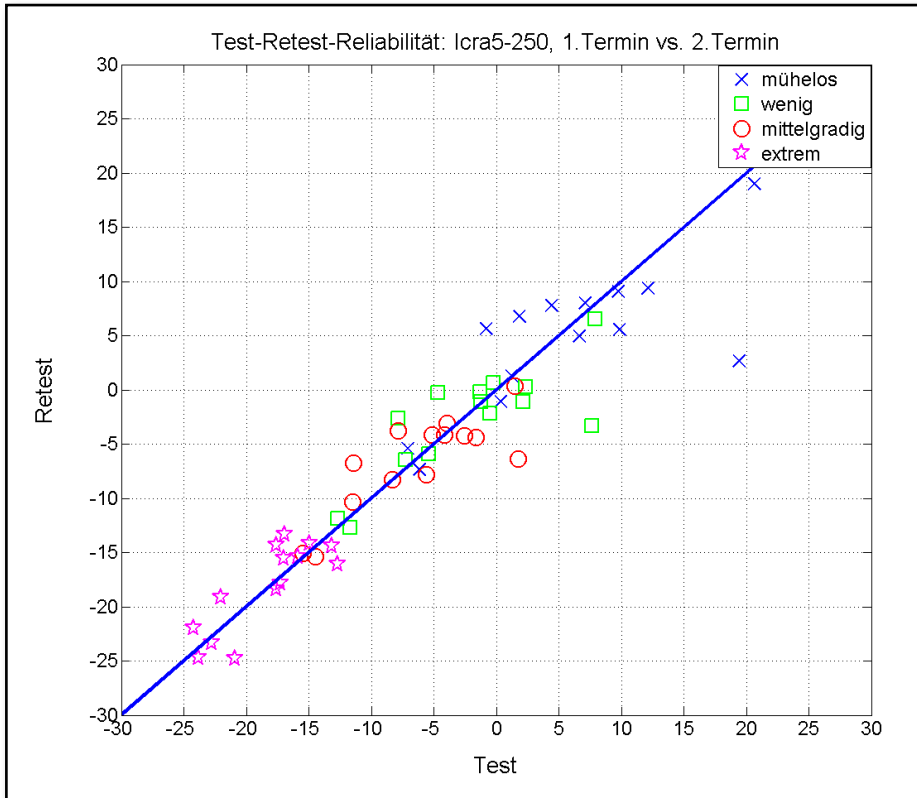


Abb. 10-17: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und zweiten Termins für den Icra5-250-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

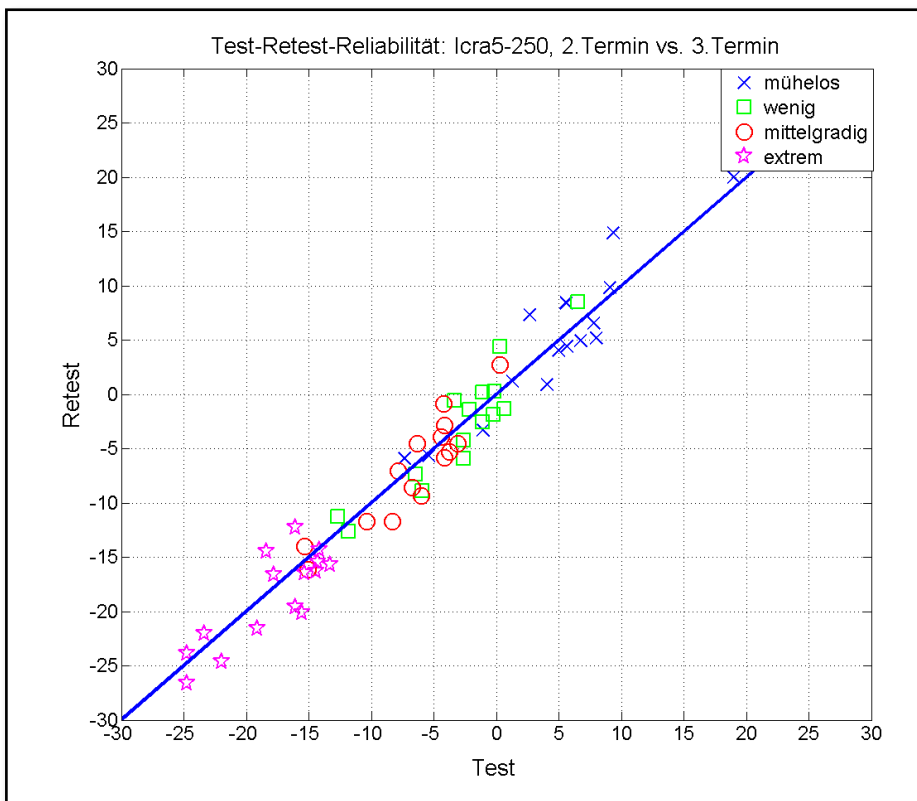


Abb. 10-18: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des zweiten und dritten Termins für den Icra5-250-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

		1. Termin Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. Icra5-250 wenig anstrengend	2. Termin Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. Icra5-250 wenig anstrengend	3. Termin Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. Icra5-250 wenig anstrengend
1. Termin, Olnoise, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,928**	,818**
	Sig. (2-seitig)		,000	,000
2. Termin, Olnoise, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	,928**	1	,935**
	Sig. (2-seitig)	,000		,000
3. Termin, Olnoise, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	,818**	,935**	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	
1. Termin, Cafeteria, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,671**	,663**
	Sig. (2-seitig)		,009	,010
2. Termin, Cafeteria, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	,671**	1	,876**
	Sig. (2-seitig)	,009		,000
3. Termin, Cafeteria, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	,663**	,876**	1
	Sig. (2-seitig)	,010	,000	
1. Termin, IFFM, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,864**	,870**
	Sig. (2-seitig)		,000	,000
2. Termin, IFFM, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	,864**	1	,876**
	Sig. (2-seitig)	,000		,000
3. Termin, IFFM, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	,870**	,876**	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	
1. Termin, Icra5-250, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,800**	,885**
	Sig. (2-seitig)		,001	,000
2. Termin, Icra5-250, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	,800**	1	,927**
	Sig. (2-seitig)	,001		,000
3. Termin, Icra5-250, wenig anstrengend	Pearson-Korrelation	,885**	,927**	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	

Tabelle 10-1: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorie „wenig anstrengend“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität. Die Korrelationen wurden für den Vergleich der jeweiligen Maskierer berechnet und sind bei einem Niveau von  $\alpha = 0,05$  (\*) signifikant und bei einem Niveau von  $\alpha = 0,01$  (\*\*) hochsignifikant.

		<b>1. Termin</b> Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. lcra5-250 <b>mittelgradig</b> <b>anstrengend</b>	<b>2. Termin</b> Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. lcra5-250 <b>mittelgradig</b> <b>anstrengend</b>	<b>3. Termin</b> Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. lcra5-250 <b>mittelgradig</b> <b>anstrengend</b>
1. Termin, Olnoise, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,939**	,837**
	Sig. (2-seitig)		,000	,000
2. Termin, Olnoise, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	,939**	1	,912**
	Sig. (2-seitig)	,000		,000
3. Termin, Olnoise, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	,837**	,912**	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	
1. Termin, Cafeteria, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,654*	,646*
	Sig. (2-seitig)		,011	,012
2. Termin, Cafeteria, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	,654*	1	,862**
	Sig. (2-seitig)	,011		,000
3. Termin, Cafeteria, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	,646*	,862**	1
	Sig. (2-seitig)	,012	,000	
1. Termin, IFFM, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,884**	,902**
	Sig. (2-seitig)		,000	,000
2. Termin, IFFM, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	,884**	1	,877**
	Sig. (2-seitig)	,000		,000
3. Termin, IFFM, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	,902**	,877**	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	
1. Termin, lcra5-250, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,823**	,894**
	Sig. (2-seitig)		,000	,000
2. Termin, lcra5-250, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	,823**	1	,916**
	Sig. (2-seitig)	,000		,000
3. Termin, lcra5-250, mittelgradig anstrengend	Pearson-Korrelation	,894**	,916**	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	

*Tabelle 10-2: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorie „mittelgradig anstrengend“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität. Die Korrelationen wurden für den Vergleich der jeweiligen Maskierer berechnet und sind bei einem Niveau von  $\alpha = 0,05$  (\*) signifikant und bei einem Niveau von  $\alpha = 0,01$  (\*\*) hochsignifikant.*

		1. Termin Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. Icra5-250 extrem anstrengend	2. Termin Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. Icra5-250 extrem anstrengend	3. Termin Olnoise bzw. Cafeteria bzw. IFFM bzw. Icra5-250 extrem anstrengend
1. Termin, Olnoise, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,418	,472
	Sig. (2-seitig)		,137	,088
2. Termin, Olnoise, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	,418	1	,677**
	Sig. (2-seitig)	,137		,006
3. Termin, Olnoise, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	,472	,677**	1
	Sig. (2-seitig)	,088	,006	
1. Termin, Cafeteria, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,411	,199
	Sig. (2-seitig)		,144	,496
2. Termin, Cafeteria, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	,411	1	,748**
	Sig. (2-seitig)	,144		,001
3. Termin, Cafeteria, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	,199	,748**	1
	Sig. (2-seitig)	,496	,001	
1. Termin, IFFM, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,599*	,689**
	Sig. (2-seitig)		,024	,006
2. Termin, IFFM, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	,599*	1	,832**
	Sig. (2-seitig)	,024		,000
3. Termin, IFFM, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	,689**	,832**	1
	Sig. (2-seitig)	,006	,000	
1. Termin, Icra5-250, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	1	,831**	,894**
	Sig. (2-seitig)		,000	,000
2. Termin, Icra5-250, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	,831**	1	,821**
	Sig. (2-seitig)	,000		,000
3. Termin, Icra5-250, extrem anstrengend	Pearson-Korrelation	,894**	,821**	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	

Tabelle 10-3: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität. Die Korrelationen wurden für den Vergleich der jeweiligen Maskierer berechnet und sind bei einem Niveau von  $\alpha = 0,05$  (\*) signifikant und bei einem Niveau von  $\alpha = 0,01$  (\*\*) hochsignifikant.

## 10.5 Normalhörende: Ergebnisse der ANOVA

Innersubjektfaktoren			
Termin	Rauschen	Bewertungskategorien	Abhängige Variable
1	1	1	mühelos1TerminOInoise
		2	wenigAnstrengend1TerminOInoise
		3	mittelgradig1TerminOInoise
		4	extrem1TerminOInoise
	2	1	mühelos1TerminIFFM
		2	wenigAnstrengend1TerminIFFM
		3	mittelgradig1TerminIFFM
		4	extrem1TerminIFFM
	3	1	mühelos1TerminCafeteria
		2	wenigAnstrengend1TerminCafeteria
		3	mittelgradig1TerminCafeteria
		4	extrem1TerminCafeteria
	4	1	mühelos1TerminIcra
		2	wenigAnstrengend1TerminIcra
		3	mittelgradig1TerminIcra
		4	extrem1TerminIcra
2	1	1	mühelos2TerminOInoise
		2	wenigAnstrengend2TerminOInoise
		3	mittelgradig2TerminOInoise
		4	extrem2TerminOInoise
	2	1	mühelos2TerminIFFM
		2	wenigAnstrengend2TerminIFFM
		3	mittelgradig2TerminIFFM
		4	extrem2TerminIFFM
	3	1	mühelos2TerminCafeteria
		2	wenigAnstrengend2TerminCafeteria
		3	mittelgradig2TerminCafeteria
		4	extrem2TerminCafeteria
	4	1	mühelos2TerminIcra
		2	wenigAnstrengend2TerminIcra
		3	mittelgradig2TerminIcra
		4	extrem2TerminIcra
3	1	1	mühelos3TerminOInoise
		2	wenigAnstrengend3TerminOInoise
		3	mittelgradig3TerminOInoise
		4	extrem3TerminOInoise
	2	1	mühelos3TerminIFFM
		2	wenigAnstrengend3TerminIFFM
		3	mittelgradig3TerminIFFM
		4	extrem3TerminIFFM
	3	1	mühelos3TerminCafeteria
		2	wenigAnstrengend3TerminCafeteria
		3	mittelgradig3TerminCafeteria
		4	extrem3TerminCafeteria
	4	1	mühelos3TerminIcra
		2	wenigAnstrengend3TerminIcra
		3	mittelgradig3TerminIcra
		4	extrem3TerminIcra

Mauchly-Test auf Sphärizität <sup>a</sup>							
Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Näherungsweise Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon <sup>b</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt (HF)	Untergrenze
Termin	,793	2,783	2	,249	,829	,934	,500
Rauschen	,213	18,148	5	,003	,526	,586	,333
Höranstrengung	0,000		5		,333	,333	,333
Termin * Rauschen	,060	30,305	20	,075	,671	1,000	,167
Termin * Höranstrengung	0,000		20		,185	,190	,167
Rauschen * Höranstrengung	0,000		44		,227	,269	,111
Termin * Rauschen * Höranstrengung	0,000		170		,174	,235	,056

Tests der Innersubjekteffekte							
Quelle		Typ III Quadratsumme	df	Quadratischer Mittelwert	F	Sig.	Partielles Eta hoch zwei
Termin	Angenommene Sphärizität	27,010	2	13,505	,416	,664	,031
	Greenhouse-Geisser	27,010	1,657	16,301	,416	,627	,031
	Huynh-Feldt (HF)	27,010	1,869	14,453	,416	,651	,031
	Untergrenze	27,010	1,000	27,010	,416	,530	,031
Fehler (Termin)	Angenommene Sphärizität	843,403	26	32,439			
	Greenhouse-Geisser	843,403	21,541	39,153			
	Huynh-Feldt (HF)	843,403	24,295	34,715			
	Untergrenze	843,403	13,000	64,877			
Rauschen	Angenommene Sphärizität	5538,596	3	1846,199	56,100	,000	,812
	Greenhouse-Geisser	5538,596	1,578	3509,460	56,100	,000	,812
	Huynh-Feldt (HF)	5538,596	1,759	3148,138	56,100	,000	,812
	Untergrenze	5538,596	1,000	5538,596	56,100	,000	,812
Fehler (Rauschen)	Angenommene Sphärizität	1283,464	39	32,909			
	Greenhouse-Geisser	1283,464	20,516	62,558			
	Huynh-Feldt (HF)	1283,464	22,871	56,117			
	Untergrenze	1283,464	13,000	98,728			

Höranstren- gung	Angenommene Sphärizität	32713,515	3	10904,505	144,440	,000	,917
	Greenhouse- Geisser	32713,515	1,000	32713,515	144,440	,000	,917
	Huynh-Feldt (HF)	32713,515	1,000	32713,515	144,440	,000	,917
	Untergrenze	32713,515	1,000	32713,515	144,440	,000	,917
Fehler (Hör- anstrengung)	Angenommene Sphärizität	2944,308	39	75,495			
	Greenhouse- Geisser	2944,308	13,000	226,485			
	Huynh-Feldt (HF)	2944,308	13,000	226,485			
	Untergrenze	2944,308	13,000	226,485			
Termin * Rauschen	Angenommene Sphärizität	135,661	6	22,610	3,873	,002	,230
	Greenhouse- Geisser	135,661	4,027	33,692	3,873	,008	,230
	Huynh-Feldt (HF)	135,661	6,000	22,610	3,873	,002	,230
	Untergrenze	135,661	1,000	135,661	3,873	,071	,230
Fehler (Ter- min * Rau- schen)	Angenommene Sphärizität	455,383	78	5,838			
	Greenhouse- Geisser	455,383	52,345	8,700			
	Huynh-Feldt (HF)	455,383	78,000	5,838			
	Untergrenze	455,383	13,000	35,029			
Termin * Hör- anstrengung	Angenommene Sphärizität	21,265	6	3,544	,431	,856	,032
	Greenhouse- Geisser	21,265	1,112	19,116	,431	,543	,032
	Huynh-Feldt (HF)	21,265	1,142	18,623	,431	,548	,032
	Untergrenze	21,265	1,000	21,265	,431	,523	,032
Fehler (Ter- min * Höran- strengung)	Angenommene Sphärizität	640,893	78	8,217			
	Greenhouse- Geisser	640,893	14,462	44,316			
	Huynh-Feldt (HF)	640,893	14,844	43,174			
	Untergrenze	640,893	13,000	49,299			
Rauschen * Höranstren- gung	Angenommene Sphärizität	2335,973	9	259,553	130,570	,000	,909
	Greenhouse- Geisser	2335,973	2,040	1145,297	130,570	,000	,909
	Huynh-Feldt (HF)	2335,973	2,423	964,166	130,570	,000	,909
	Untergrenze	2335,973	1,000	2335,973	130,570	,000	,909
Fehler (Rauschen * Höranstren- gung)	Angenommene Sphärizität	232,578	117	1,988			
	Greenhouse- Geisser	232,578	26,515	8,772			
	Huynh-Feldt (HF)	232,578	31,496	7,384			
	Untergrenze	232,578	13,000	17,891			



Termin * Rauschen * Höranstren- gung	Angenommene Sphärizität	20,719	18	1,151	1,440	,114	,100
	Greenhouse- Geisser	20,719	3,123	6,633	1,440	,244	,100
	Huynh-Feldt (HF)	20,719	4,225	4,904	1,440	,231	,100
	Untergrenze	20,719	1,000	20,719	1,440	,251	,100
Fehler (Termin * Rauschen * Höranstren- gung)	Angenommene Sphärizität	186,986	234	,799			
	Greenhouse- Geisser	186,986	40,604	4,605			
	Huynh-Feldt (HF)	186,986	54,922	3,405			
	Untergrenze	186,986	13,000	14,384			

## 10.6 Schwerhörende: Vergleich versorgt – unversorgt

müheless		versorgt			
		Olnoise	IFFM	Cafeteria	lcra5-250
unversorgt	Olnoise	,266		---	---
	IFFM	---	,273	---	---
	Cafeteria	---	---	,896	---
	lcra5-250	---	---	---	,846
wenig anstrengend		versorgt			
		Olnoise	IFFM	Cafeteria	lcra5-250
unversorgt	Olnoise	,172	---	---	---
	IFFM	---	,510	---	---
	Cafeteria	---	---	,393	---
	lcra5-250	---	---	---	,461
mittelgradig anstrengend		versorgt			
		Olnoise	IFFM	Cafeteria	lcra5-250
unversorgt	Olnoise	,121	---	---	---
	IFFM	---	,973	---	---
	Cafeteria	---	---	,271	---
	lcra5-250	---	---	---	,272
extrem anstrengend		versorgt			
		Olnoise	IFFM	Cafeteria	lcra5-250
unversorgt	Olnoise	,049	---	---	---
	IFFM	---	,079	---	---
	Cafeteria	---	---	,157	---
	lcra5-250	---	---	---	,043

Tabelle 10-4: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für die Höranstrengungsmessungen. Dabei wurden für die jeweiligen Bewertungskategorien („müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“, „extrem anstrengend“) die „versorgten“ und „unversorgten“ Messungen miteinander verglichen. Das Signifikanzniveau wurde mit der Bonferroni-Korrektur für vier Paarvergleichen angepasst: \*signifikant ( $\alpha = 0,0125$ ), \*\*hochsignifikant ( $\alpha = 0,0025$ ).

### 10.7 Schwerhörrende: Test-Retest-Reliabilität

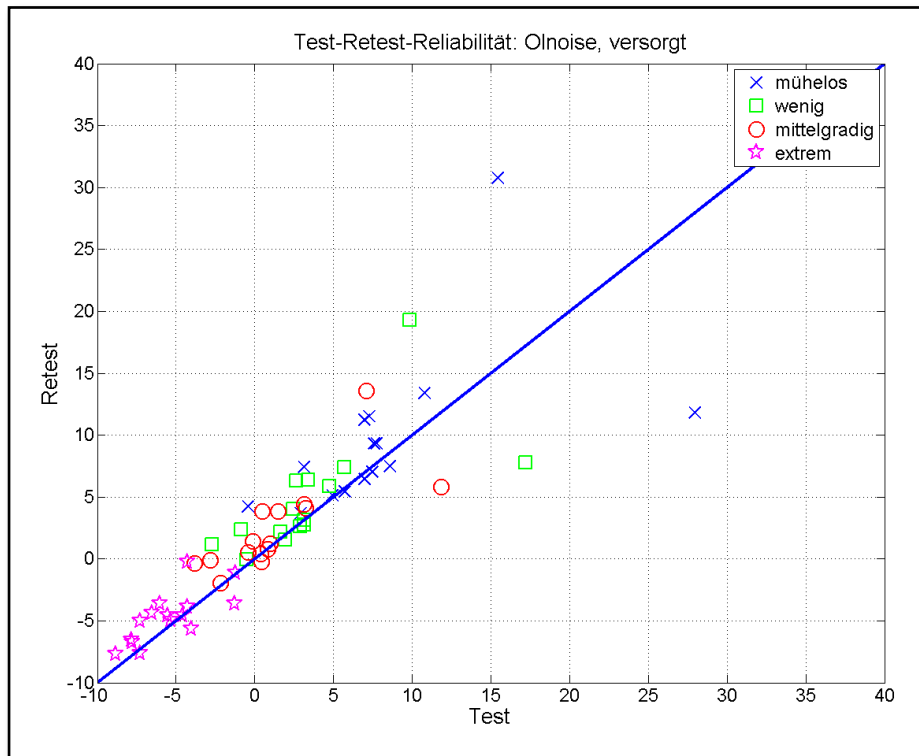


Abb. 10-19: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („versorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Olnoise-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheles“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

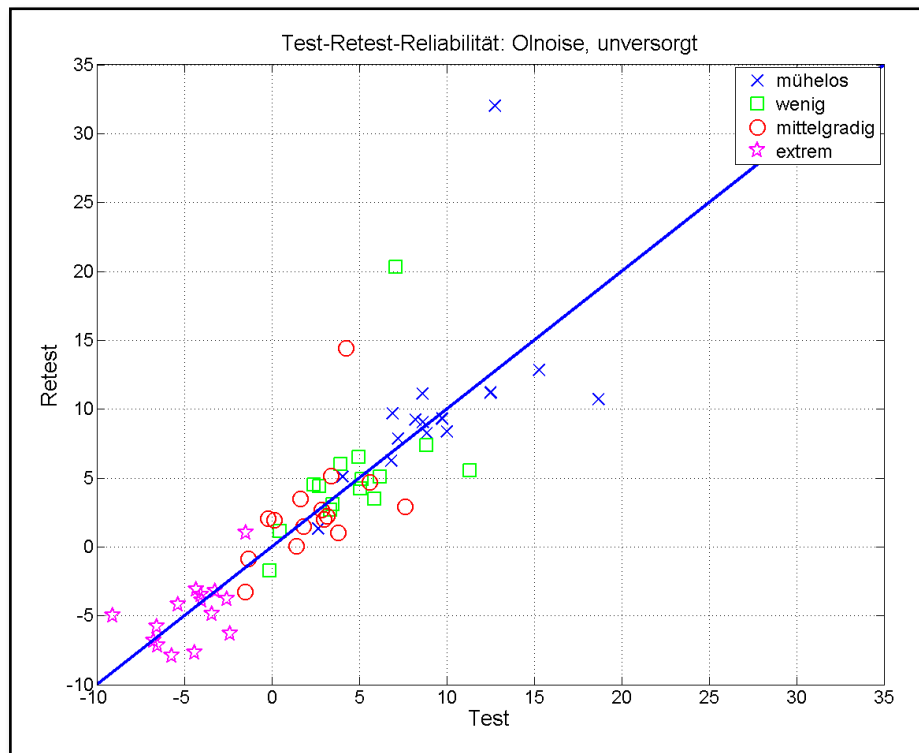


Abb. 10-20: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („unversorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Olnoise-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheles“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

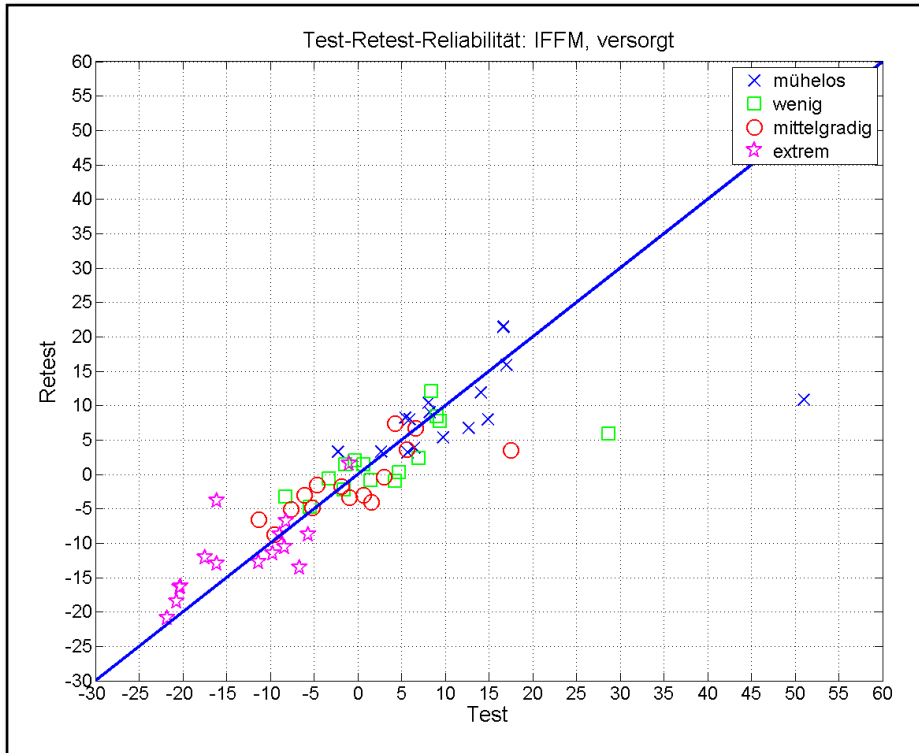


Abb. 10-21: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („versorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den IFFM-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

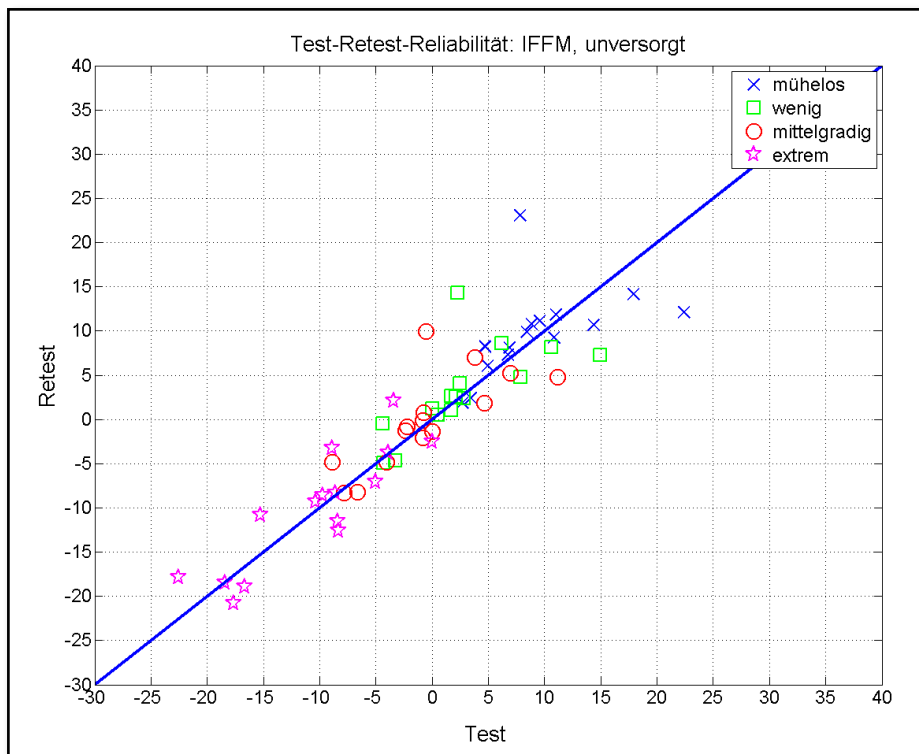


Abb. 10-22: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („unversorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den IFFM-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

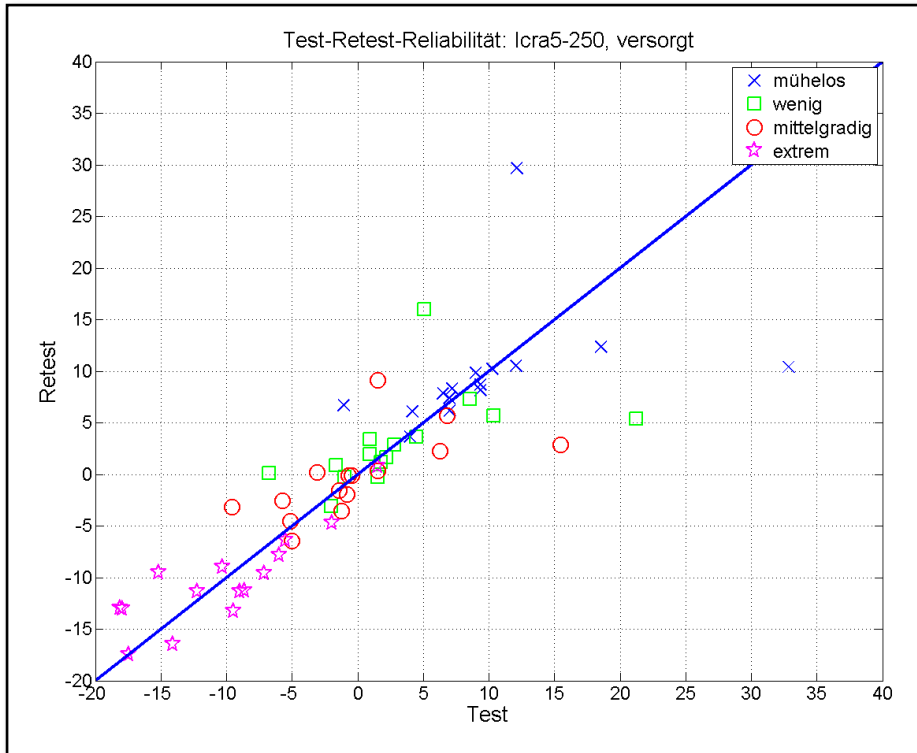


Abb. 10-23: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („versorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Icras5-250-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

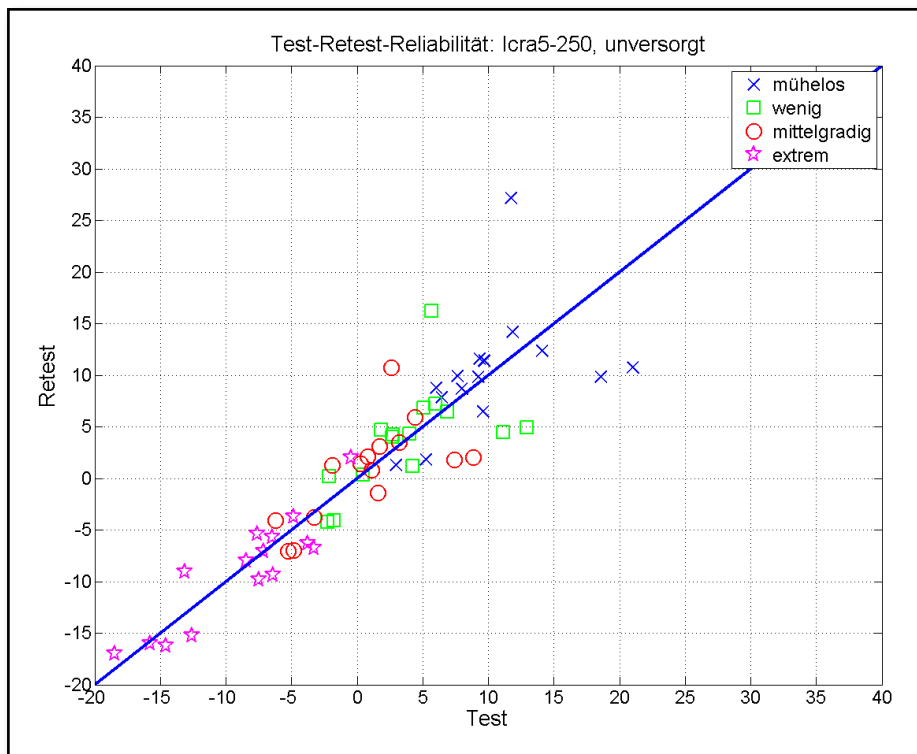


Abb. 10-24: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („unversorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Icras5-250-Maskierer. Betrachtung der Höranstrengung für die Bewertungskategorien „müheless“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“. Aufgetragen sind die Resultate der Retest- über die Test-Kondition.

## 10.8 Schwerhörende: Ergebnisse der ANOVA

Innersubjektfaktoren					
Termin	Maskierer	Bewertungskategorien	Versorgungsstatus	Abhängige Variable	
1	1	1	1	mühelos1OInoiseUnversorgt	
			2	mühelos1OInoiseVersorgt	
		2	1	Wenig1OInoiseUnversorgt	
			2	Wenig1OInoiseVersorgt	
		3	1	Mittelgradig1OInoiseUnversorgt	
			2	Mittelgradig1OInoiseVersorgt	
		4	1	extrem1OInoiseUnversorgt	
			2	extrem1OInoiseVersorgt	
	2	1	1	1	mühelos1IFFMUnversorgt
				2	mühelos1IFFMVersorgt
		2	1	1	Wenig1IFFMUnversorgt
				2	Wenig1IFFMVersorgt
		3	1	1	Mittelgradig1IFFMUnversorgt
				2	Mittelgradig1IFFMVersorgt
		4	1	1	extrem1IFFMUnversorgt
				2	extrem1IFFMVersorgt
	3	1	1	1	mühelos1CafeteriaUnversorgt
				2	mühelos1CafeteriaVersorgt
		2	1	1	Wenig1CafeteriaUnversorgt
				2	Wenig1CafeteriaVersorgt
		3	1	1	Mittelgradig1CafeteriaUnversorgt
				2	Mittelgradig1CafeteriaVersorgt
		4	1	1	extrem1CafeteriaUnversorgt
				2	extrem1CafeteriaVersorgt
	4	1	1	1	mühelos1lcraUnversorgt
				2	mühelos1lcraVersorgt
		2	1	1	Wenig1lcraUnversorgt
				2	Wenig1lcraVersorgt
3		1	1	Mittelgradig1lcraUnversorgt	
			2	Mittelgradig1lcraVersorgt	
4		1	1	extrem1lcraUnversorgt	
			2	extrem1lcraVersorgt	

2	1	1	1	mühelos2OInoiseUnversorgt
			2	mühelos2OInoiseVersorgt
		2	1	Wenig2OInoiseUnversorgt
			2	Wenig2OInoiseVersorgt
		3	1	Mittelgradig2OInoiseUnversorgt
			2	Mittelgradig2OInoiseVersorgt
		4	1	extrem2OInoiseUnversorgt
			2	extrem2OInoiseVersorgt
	2	1	1	mühelos2IFFMUnversorgt
			2	mühelos2IFFMVersorgt
		2	1	Wenig2IFFMUnversorgt
			2	Wenig2IFFMVersorgt
		3	1	Mittelgradig2IFFMeUnversorgt
			2	Mittelgradig2IFFMVersorgt
		4	1	extrem2IFFMUnversorgt
			2	extrem2IFFMVersorgt
	3	1	1	mühelos2CafeteriaUnversorgt
			2	mühelos2CafeteriaVersorgt
		2	1	Wenig2CafeteriaUnversorgt
			2	Wenig2CafeteriaVersorgt
		3	1	Mittelgradig2CafeteriaUnversorgt
			2	Mittelgradig2CafeteriaVersorgt
		4	1	extrem2CafeteriaUnversorgt
			2	extrem2CafeteriaVersorgt
	4	1	1	mühelos2lcraUnversorgt
			2	mühelos2lcraVersorgt
		2	1	Wenig2lcraUnversorgt
			2	Wenig2lcraVersorgt
3		1	Mittelgradig2lcraUnversorgt	
		2	Mittelgradig2lcraVersorgt	
4		1	extrem2lcraUnversorgt	
		2	extrem2lcraVersorgt	

Mauchly-Test auf Sphärizität <sup>a</sup>							
Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Näherungsweise Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon <sup>b</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt (HF)	Untergrenze
Termin	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
Rauschen	,153	23,901	5	,000	,489	,532	,333
Höranstrengung	0,000		5		,333	,333	,333
Versorgungsstatus	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
Termin * Rauschen	,518	8,359	5	,139	,679	,795	,333
Termin * Höranstrengung	0,000		5		,333	,333	,333
Rauschen * Höranstrengung	0,000		44		,209	,240	,111
Termin * Rauschen * Höranstrengung	0,000		44		,251	,302	,111
Termin * Versorgungsstatus	1,000	0,000	0		1,000	1,000	1,000
Rauschen * Versorgungsstatus	,463	9,804	5	,082	,661	,770	,333
Termin * Rauschen * Versorgungsstatus	,492	9,033	5	,109	,688	,809	,333
Höranstrengung * Versorgungsstatus	0,000		5		,333	,333	,333
Termin * Höranstrengung * Versorgungsstatus	0,000		5		,333	,333	,333
Rauschen * Höranstrengung * Versorgungsstatus	0,000		44		,206	,237	,111
Termin * Rauschen * Höranstrengung * Versorgungsstatus	0,000		44		,220	,256	,111

Tests der Innersubjekteffekte								
Quelle		Typ III Quadrat- summe	df	Quadra- tischer Mittelwert	F	Sig.	Dezentr. Parame- ter	Beobach- tete Trenn- schärfe <sup>a</sup>
Termin	Angenommene Sphärizität	1,725	1	1,725	,010	,923	,010	,051
	Greenhouse- Geisser	1,725	1,000	1,725	,010	,923	,010	,051
	Huynh-Feldt (HF)	1,725	1,000	1,725	,010	,923	,010	,051
	Untergrenze	1,725	1,000	1,725	,010	,923	,010	,051
Fehler (Termin)	Angenommene Sphärizität	2465,875	14	176,134				
	Greenhouse- Geisser	2465,875	14,000	176,134				
	Huynh-Feldt (HF)	2465,875	14,000	176,134				
	Untergrenze	2465,875	14,000	176,134				
Rauschen	Angenommene Sphärizität	1533,959	3	511,320	12,171	,000	36,513	,999
	Greenhouse- Geisser	1533,959	1,466	1046,191	12,171	,001	17,846	,966
	Huynh-Feldt (HF)	1533,959	1,595	961,627	12,171	,001	19,415	,975
	Untergrenze	1533,959	1,000	1533,959	12,171	,004	12,171	,900
Fehler (Rau- schen)	Angenommene Sphärizität	1764,477	42	42,011				
	Greenhouse- Geisser	1764,477	20,527	85,958				
	Huynh-Feldt (HF)	1764,477	22,332	79,010				
	Untergrenze	1764,477	14,000	126,034				
Höran- stren- gung	Angenommene Sphärizität	37137,806	3	12379,269	240,619	,000	721,856	1,000
	Greenhouse- Geisser	37137,806	1,000	37137,806	240,619	,000	240,619	1,000
	Huynh-Feldt (HF)	37137,806	1,000	37137,806	240,619	,000	240,619	1,000
	Untergrenze	37137,806	1,000	37137,806	240,619	,000	240,619	1,000
Fehler (Höran- stren- gung)	Angenommene Sphärizität	2160,803	42	51,448				
	Greenhouse- Geisser	2160,803	14,000	154,343				
	Huynh-Feldt (HF)	2160,803	14,000	154,343				
	Untergrenze	2160,803	14,000	154,343				



Versorgungsstatus	Angenommene Sphärizität	177,054	1	177,054	4,571	,051	4,571	,512
	Greenhouse-Geisser	177,054	1,000	177,054	4,571	,051	4,571	,512
	Huynh-Feldt (HF)	177,054	1,000	177,054	4,571	,051	4,571	,512
	Untergrenze	177,054	1,000	177,054	4,571	,051	4,571	,512
Fehler (Versorgungsstatus)	Angenommene Sphärizität	542,289	14	38,735				
	Greenhouse-Geisser	542,289	14,000	38,735				
	Huynh-Feldt (HF)	542,289	14,000	38,735				
	Untergrenze	542,289	14,000	38,735				
Termin * Rauschen	Angenommene Sphärizität	44,079	3	14,693	1,204	,320	3,612	,299
	Greenhouse-Geisser	44,079	2,036	21,645	1,204	,315	2,452	,243
	Huynh-Feldt (HF)	44,079	2,386	18,473	1,204	,318	2,873	,264
	Untergrenze	44,079	1,000	44,079	1,204	,291	1,204	,176
Fehler (Termin * Rauschen)	Angenommene Sphärizität	512,606	42	12,205				
	Greenhouse-Geisser	512,606	28,510	17,980				
	Huynh-Feldt (HF)	512,606	33,405	15,345				
	Untergrenze	512,606	14,000	36,615				
Termin * Höranstrengung	Angenommene Sphärizität	1,041	3	,347	,014	,998	,041	,052
	Greenhouse-Geisser	1,041	1,000	1,041	,014	,908	,014	,051
	Huynh-Feldt (HF)	1,041	1,000	1,041	,014	,908	,014	,051
	Untergrenze	1,041	1,000	1,041	,014	,908	,014	,051
Fehler (Termin * Höranstrengung)	Angenommene Sphärizität	1053,872	42	25,092				
	Greenhouse-Geisser	1053,872	14,000	75,277				
	Huynh-Feldt (HF)	1053,872	14,000	75,277				
	Untergrenze	1053,872	14,000	75,277				
Rauschen * Höranstrengung	Angenommene Sphärizität	1192,414	9	132,490	30,640	,000	275,762	1,000
	Greenhouse-Geisser	1192,414	1,877	635,254	30,640	,000	57,514	1,000
	Huynh-Feldt (HF)	1192,414	2,158	552,667	30,640	,000	66,108	1,000
	Untergrenze	1192,414	1,000	1192,414	30,640	,000	30,640	,999

Fehler (Rauschen * Höran- streuung)	Angenommene Sphärizität	544,832	126	4,324				
	Greenhouse- Geisser	544,832	26,279	20,733				
	Huynh-Feldt (HF)	544,832	30,206	18,037				
	Untergrenze	544,832	14,000	38,917				
Termin * Rauschen * Höran- streuung	Angenommene Sphärizität	45,440	9	5,049	2,329	,018	20,965	,896
	Greenhouse- Geisser	45,440	2,262	20,090	2,329	,108	5,269	,464
	Huynh-Feldt (HF)	45,440	2,720	16,706	2,329	,095	6,336	,516
	Untergrenze	45,440	1,000	45,440	2,329	,149	2,329	,296
Fehler (Termin * Rauschen * Höran- streuung)	Angenommene Sphärizität	273,100	126	2,167				
	Greenhouse- Geisser	273,100	31,666	8,624				
	Huynh-Feldt (HF)	273,100	38,080	7,172				
	Untergrenze	273,100	14,000	19,507				
Termin * Versor- gungssta- tus	Angenommene Sphärizität	1,335	1	1,335	,027	,872	,027	,053
	Greenhouse- Geisser	1,335	1,000	1,335	,027	,872	,027	,053
	Huynh-Feldt (HF)	1,335	1,000	1,335	,027	,872	,027	,053
	Untergrenze	1,335	1,000	1,335	,027	,872	,027	,053
Fehler (Termin * Versor- gungssta- tus)	Angenommene Sphärizität	695,443	14	49,675				
	Greenhouse- Geisser	695,443	14,000	49,675				
	Huynh-Feldt (HF)	695,443	14,000	49,675				
	Untergrenze	695,443	14,000	49,675				
Rauschen * Versor- gungssta- tus	Angenommene Sphärizität	24,272	3	8,091	,817	,492	2,450	,211
	Greenhouse- Geisser	24,272	1,983	12,239	,817	,451	1,619	,175
	Huynh-Feldt (HF)	24,272	2,309	10,512	,817	,466	1,885	,187
	Untergrenze	24,272	1,000	24,272	,817	,381	,817	,135
Fehler (Rauschen * Versor- gungssta- tus)	Angenommene Sphärizität	416,167	42	9,909				
	Greenhouse- Geisser	416,167	27,765	14,989				
	Huynh-Feldt (HF)	416,167	32,327	12,873				
	Untergrenze	416,167	14,000	29,726				

Termin * Rauschen * Versor- gungssta- tus	Angenommene Sphärizität	39,225	3	13,075	1,633	,196	4,898	,397
	Greenhouse- Geisser	39,225	2,064	19,006	1,633	,212	3,370	,321
	Huynh-Feldt (HF)	39,225	2,426	16,169	1,633	,206	3,961	,351
	Untergrenze	39,225	1,000	39,225	1,633	,222	1,633	,222
Fehler (Termin * Rauschen * Versor- gungs- status)	Angenommene Sphärizität	336,339	42	8,008				
	Greenhouse- Geisser	336,339	28,893	11,641				
	Huynh-Feldt (HF)	336,339	33,963	9,903				
	Untergrenze	336,339	14,000	24,024				
Höran- streuung * Versor- gungssta- tus	Angenommene Sphärizität	33,067	3	11,022	2,705	,057	8,115	,616
	Greenhouse- Geisser	33,067	1,000	33,067	2,705	,122	2,705	,335
	Huynh-Feldt (HF)	33,067	1,000	33,067	2,705	,122	2,705	,335
	Untergrenze	33,067	1,000	33,067	2,705	,122	2,705	,335
Fehler (Höran- streuung * Versor- gungssta- tus)	Angenommene Sphärizität	171,139	42	4,075				
	Greenhouse- Geisser	171,139	14,000	12,224				
	Huynh-Feldt (HF)	171,139	14,000	12,224				
	Untergrenze	171,139	14,000	12,224				
Termin * Höran- streuung * Versor- gungssta- tus	Angenommene Sphärizität	39,157	3	13,052	2,373	,084	7,119	,554
	Greenhouse- Geisser	39,157	1,000	39,157	2,373	,146	2,373	,300
	Huynh-Feldt (HF)	39,157	1,000	39,157	2,373	,146	2,373	,300
	Untergrenze	39,157	1,000	39,157	2,373	,146	2,373	,300
Fehler (Termin * Höran- streuung * Versor- gungssta- tus)	Angenommene Sphärizität	231,016	42	5,500				
	Greenhouse- Geisser	231,016	14,000	16,501				
	Huynh-Feldt (HF)	231,016	14,000	16,501				
	Untergrenze	231,016	14,000	16,501				
Rauschen * Höran- streuung * Versor- gungssta- tus	Angenommene Sphärizität	30,337	9	3,371	1,672	,102	15,049	,747
	Greenhouse- Geisser	30,337	1,858	16,331	1,672	,208	3,106	,309
	Huynh-Feldt (HF)	30,337	2,130	14,242	1,672	,204	3,562	,334
	Untergrenze	30,337	1,000	30,337	1,672	,217	1,672	,226

Fehler (Rauschen * Höran- stren- gung * Versor- gungssta- tus)	Angenommene Sphärizität	254,004	126	2,016				
	Greenhouse- Geisser	254,004	26,007	9,767				
	Huynh-Feldt (HF)	254,004	29,821	8,518				
	Untergrenze	254,004	14,000	18,143				
Termin * Rauschen * Höran- stren- gung * Versor- gungssta- tus	Angenommene Sphärizität	36,757	9	4,084	1,813	,072	16,318	,788
	Greenhouse- Geisser	36,757	1,980	18,565	1,813	,182	3,590	,344
	Huynh-Feldt (HF)	36,757	2,304	15,951	1,813	,175	4,178	,375
	Untergrenze	36,757	1,000	36,757	1,813	,200	1,813	,241
Fehler (Termin * Rauschen * Höran- stren- gung * Versor- gungssta- tus)	Angenommene Sphärizität	283,814	126	2,252				
	Greenhouse- Geisser	283,814	27,719	10,239				
	Huynh-Feldt (HF)	283,814	32,262	8,797				
	Untergrenze	283,814	14,000	20,272				

## 11. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Masterarbeit tatkräftig unterstützt und motiviert haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Betreuern Dr. Michael Schulte und Prof. Dr. Inga Holube für die zahlreichen Ideen und Ratschläge sowie für die moralische Unterstützung während der gesamten Zeit. Vielen Dank für Eure Geduld und Mühen.

Vor allem bei meinen Vorgesetzten und Kollegen vom Hörzentrum Oldenburg möchte ich mich herzlich bedanken. Ohne die unermüdliche Unterstützung, die vielen aufmunternden Worte und den kontinuierlichen Ansporn würde diese Masterarbeit nicht in dieser Form vorliegen. Ihr alle habt einen maßgeblichen Anteil daran. Vielen Dank. Dabei möchte ich mich auch bei Marit Nienaber für die Durchführung eines Teils der Probandenmessungen bedanken. Ein besonderer Dank gilt zudem Müge Kaya. Danke für alles!

Ebenso möchte ich mich bei meinen Freunden für die Ratschläge und Ermutigungen, aber vor allem auch für den Rückhalt und die Entlastungen bedanken.

Nicht zuletzt gebührt meinen Eltern der größte Dank. Ohne sie hätte ich meine Studienzzeit nicht realisieren können. Danke, dass Ihr mich immer in all meinen Entscheidungen unterstützt habt!

Auch all denen, die hier nicht namentlich genannt wurden, gilt mein herzlicher Dank.

## 12. Verzeichnisse

### 12.1 Abkürzungsverzeichnis

HL	Hörschwelle (engl.: <b>H</b> earing <b>L</b> evel)
IFFM	International Female Fluctuating Masker
ISTS	International Speech Test Signal
LL	Luftleitung
Olnoise	Spezifischer Maskierer des Oldenburger Satztests
OLSA	Oldenburger Satztest
PTA <sub>4</sub>	Mittlerer Hörverlust bei den Frequenzen 500 Hz, 1, 2 und 4 kHz (engl.: <b>P</b> ure <b>T</b> one <b>A</b> verage)
SNR	Signal-Rausch-Abstand (engl.: <b>S</b> ignal-to- <b>N</b> oise <b>R</b> atio)
SPL	Schalldruckpegel (engl.: <b>S</b> ound <b>P</b> ressure <b>L</b> evel)
SRT	Sprachverständlichkeitsschwelle (engl.: <b>S</b> peech <b>R</b> ecognition <b>T</b> hreshold)
UCL	Unbehaglichkeitsschwelle (engl.: <b>U</b> ncomfortable <b>L</b> evel)

## 12.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1: 14-stufige Skala zur Bewertung der Höranstrengung	19
Abb. 3-2: Sprachverständlichkeitsschwellen für den Olnoise- und den ISTS-Maskierer ermittelt mit dem OLSA für zehn normalhörende Versuchspersonen	20
Abb. 3-3: Geschätzte psychometrische Funktion für das Olnoise	21
Abb. 3-4: Geschätzte psychometrische Funktion für das ISTS	22
Abb. 3-5: Darstellung der Messergebnisse einer Versuchsperson und der daraus resultierenden Regressionsgerade für den Maskierer Olnoise	23
Abb. 3-6: Darstellung der Messergebnisse von fünf Versuchspersonen und der daraus resultierenden Regressionsgeraden für den Maskierer Olnoise	23
Abb. 3-7: Darstellung der Regressionsgeraden für die Maskierer ISTS (blaue Linien) und Olnoise (schwarze Linien) ermittelt unter Verwendung der symmetrischen Schrittweite und der 13-stufigen (durchgezogene Linien) bzw. 14-stufigen Skala (gestrichelte Linien)	24
Abb. 3-8: Vergleich der Skalen mit Hilfe von Histogrammen	25
Abb. 3-9: Vergleich der Skalen mit Hilfe von Histogrammen	26
Abb. 3-10: Darstellung der Regressionsgeraden für die Maskierer ISTS (blaue Linien) und Olnoise (rote Linien)	27
Abb. 3-11: Darstellung der Regressionsgeraden für die Maskierer ISTS (blaue Linie) und Olnoise (schwarze Linie)	28
Abb. 3-12: Darstellung der Regressionsgeraden für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Bedingung (gestrichelte Linien) unter Verwendung des Olnoise-Maskierers	29
Abb. 3-13: Darstellung der Regressionsgeraden für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Bedingung (gestrichelte Linien) unter Verwendung des Olnoise-Maskierers	30
Abb. 4-1: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer Olnoise mit vier verschiedenen Startpegeln (60, 65, 70 und 75 dB SPL)	36
Abb. 4-2: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer ISTS mit vier verschiedenen Startpegeln (45, 55, 65 und 75 dB SPL)	37
Abb. 4-3: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer ISTS (magentafarbene Linien) und Olnoise (grüne Linien) unter Verwendung der adaptiven (durchgezogene Linien) und statischen Messmethode (gestrichelte Linien)	38
Abb. 4-4: Subjektive Höranstrengung einer Versuchsperson in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer Olnoise unter Verwendung der adaptiven (rote Linie) und statischen Messmethode (schwarze Linie)	39

Abb. 4-5: Subjektive Höranstrengung einer Versuchsperson in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer Olnoise unter Verwendung der adaptiven (rote Linie) und statischen Messmethode (schwarze Linie)	39
Abb. 5-1: Hörschwelle in dB HL für die schwerhörigen Versuchspersonen	43
Abb. 5-2: Spektrogramme für die Maskierer Cafeteria (oben) und Olnoise (unten)	44
Abb. 5-3: Spektrogramme für die Maskierer Icra5-250 (oben) und IFFM (unten)	45
Abb. 5-4: Sprachverständlichkeitsschwellen für die vier Maskierer ermittelt mit dem OLSA für die normalhörenden Versuchspersonen	48
Abb. 5-5: Vergleich der geschätzten psychometrischen Funktion und der erzielten Sprachverständlichkeit bei festen SNR-Werten	50
Abb. 5-6: Sprachverständlichkeitsschwellen für die vier Maskierer ermittelt mit dem OLSA für die schwerhörigen Versuchspersonen	50
Abb. 5-7: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die vier Maskierer während des ersten Messtermins	53
Abb. 5-8: Vergleich der subjektiven Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die Maskierer Cafeteria (durchgezogene Linien) und IFFM (gestrichelte Linien) während der drei Messtermine	55
Abb. 5-9: Vergleich der subjektiven Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die Maskierer Olnoise (durchgezogene Linien) und Icra5-250 (gestrichelte Linien) während der drei Messtermine	55
Abb. 5-10: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und dritten Termins für den Icra5-250-Maskierer	56
Abb. 5-11: Darstellung der über alle Versuchspersonen gemittelten psychometrischen Sprachverständlichkeitsfunktion (durchgezogene Linien) sowie der ermittelten subjektiven Höranstrengung (gestrichelte Linien) für verschiedene Maskierer	59
Abb. 5-12: Darstellung der über alle Versuchspersonen gemittelten psychometrischen Sprachverständlichkeitsfunktion (fein gestrichelte Linien), der gemessenen Sprachverständlichkeit (Kreuze) sowie der ermittelten subjektiven Höranstrengung (gestrichelte Linien) für verschiedene Maskierer	60
Abb. 5-13: Vergleich der erzielten Sprachverständlichkeit mit der empfundenen Höranstrengung	61
Abb. 5-14: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die vier Maskierer während des ersten Messtermins und ohne Hörgeräte („unversorgt“)	62
Abb. 5-15: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die vier Maskierer während des ersten Messtermins und mit Hörgeräten („versorgt“)	64
Abb. 5-16: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer IFFM (magentafarbene Linien) und Cafeteria (rote Linien) für die „versorgten“ (durchgezogene Linien) und „unversorgten“ (gestrichelte Linien) Messungen	66



Abb. 5-17: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer Ica5-250 (schwarze Linien) und Olnoise (blaue Linien) für die „versorgten“ (durchgezogene Linien) und „unversorgten“ (gestrichelte Linien) Messungen	67
Abb. 5-18: Vergleich der subjektiven Höranstrengung („unversorgt“) in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Kondition (gestrichelte Linien) für die verschiedenen Maskierer	68
Abb. 5-19: Vergleich der subjektiven Höranstrengung („versorgt“) in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Kondition (gestrichelte Linien) für die verschiedenen Maskierer	68
Abb. 5-20: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („versorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Cafeteria-Maskierer	69
Abb. 5-21: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („unversorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Cafeteria-Maskierer	71
Abb. 5-22: Darstellung der über alle Versuchspersonen gemittelten psychometrischen Sprachverständlichkeitsfunktion (durchgezogene Linien) sowie der ermittelten subjektiven Höranstrengung (gestrichelte Linien) für verschiedene Maskierer im unversorgten Zustand	73
Abb. 5-23: Darstellung der über alle Versuchspersonen gemittelten psychometrischen Sprachverständlichkeitsfunktion (durchgezogene Linien) sowie der ermittelten subjektiven Höranstrengung (gestrichelte Linien) für verschiedene Maskierer im versorgten Zustand	74
Abb. 5-24: Antwortverhalten der Versuchspersonen bei der Beantwortung des Höranstrengungsfragebogens	75
Abb. 7-1: Schriftliche Instruktion bei Verwendung der 13-stufigen Skala	84
Abb. 7-2: Schriftliche Instruktion bei Verwendung der 14-stufigen Skala	85
Abb. 7-3: Schriftliche Instruktion für die Sprachverständlichkeitsmessung	86
Abb. 9-1: Hörschwelle in dB HL für die normalhörenden Versuchspersonen (Pilotstudie 1)	95
Abb. 9-2: Darstellung der Regressionsgeraden für die Maskierer ISTS (blaue Linien) und Olnoise (schwarze Linien) ermittelt unter Verwendung der asymmetrischen Schrittweite und der 13-stufigen (durchgezogene Linien) bzw. 14-stufigen Skala (gestrichelte Linien)	95
Abb. 9-3: Vergleich der Skalen mit Hilfe von Histogrammen	96
Abb. 9-4: Vergleich der Skalen mit Hilfe von Histogrammen	96
Abb. 9-5: Darstellung der Regressionsgeraden für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Bedingung (gestrichelte Linien) unter Verwendung des ISTS-Maskierers	97
Abb. 9-6: Darstellung der Regressionsgeraden für die Test- (durchgezogene Linien) und Retest-Bedingung (gestrichelte Linien) unter Verwendung des ISTS-Maskierers	97

Abb. 9-7: Subjektive Höranstrengung einer Versuchsperson in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt mit dem Maskierer ISTS unter Verwendung der adaptiven (rote Linie) und statischen Messmethode (schwarze Linie)	99
Abb. 10-1: Hörschwelle in dB HL für die normalhörenden Versuchspersonen	107
Abb. 10-2: Erzielte Sprachverständlichkeiten bei festen SNR-Werten für den Maskierer Olnoise	107
Abb. 10-3: Erzielte Sprachverständlichkeiten bei festen SNR-Werten für den Maskierer Cafeteria	108
Abb. 10-4: Erzielte Sprachverständlichkeiten bei festen SNR-Werten für den Maskierer Ica5-250	108
Abb. 10-5: Erzielte Sprachverständlichkeiten bei festen SNR-Werten für den Maskierer IFFM	109
Abb. 10-6: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die vier Maskierer während des zweiten Messtermins	109
Abb. 10-7: Subjektive Höranstrengung in Abhängigkeit vom SNR in dB ermittelt für die vier Maskierer während des dritten Messtermins	110
Abb. 10-8: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und zweiten Termins für den Cafeteria-Maskierer	110
Abb. 10-9: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und dritten Termins für den Cafeteria-Maskierer	111
Abb. 10-10: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des zweiten und dritten Termins für den Cafeteria-Maskierer	111
Abb. 10-11: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und zweiten Termins für den IFFM-Maskierer	112
Abb. 10-12: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und dritten Termins für den IFFM-Maskierer	112
Abb. 10-13: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des zweiten und dritten Termins für den IFFM-Maskierer	113
Abb. 10-14: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und zweiten Termins für den Olnoise-Maskierer	113
Abb. 10-15: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und dritten Termins für den Olnoise-Maskierer	114
Abb. 10-16: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des zweiten und dritten Termins für den Olnoise-Maskierer	114
Abb. 10-17: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des ersten und zweiten Termins für den Ica5-250-Maskierer	115
Abb. 10-18: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung des zweiten und dritten Termins für den Ica5-250-Maskierer	115

Abb. 10-19: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („versorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Olnoise-Maskierer	123
Abb. 10-20: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („unversorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Olnoise-Maskierer	123
Abb. 10-21: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („versorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den IFFM-Maskierer	124
Abb. 10-22: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („unversorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den IFFM-Maskierer	124
Abb. 10-23: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („versorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Ica5-250-Maskierer	125
Abb. 10-24: Gegenüberstellung der ermittelten subjektiven Höranstrengung („unversorgt“) der Test- und Retest-Kondition für den Ica5-250-Maskierer	125

## 12.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Überblick über verschiedene Skalen zur Erfassung von Höranstrengung	9
Tabelle 3-1: Informationen über die Versuchspersonengruppen der Pilotstudie I	17
Tabelle 3-2: Ablauf der Messtermine für die Pilotstudie I	17
Tabelle 4-1: Gewählte Startpegel für die adaptive Skalierung für den Olnoise- und ISTS-Maskierer	34
Tabelle 4-2: Gewählte Darbietungspegel für die statische Skalierung für den Olnoise- und ISTS-Maskierer	35
Tabelle 5-1: Messablauf für die Termine der normalhörenden Versuchspersonen	46
Tabelle 5-2: Auflistung der verwendeten festen SNR-Werte zum Erzielen der jeweiligen Sprachverständlichkeit (SV) für die vier Maskierer	46
Tabelle 5-3: Messablauf für die Termine der schwerhörenden Versuchspersonen	47
Tabelle 5-4: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für die Sprachverständlichkeit	49
Tabelle 5-5: Übersicht der verwendeten festen SNR-Werte und der damit erzielten Sprachverständlichkeit für die vier Maskierer (Mediane)	49
Tabelle 5-6: Ergebnisse der Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für den Vergleich der „versorgten“ und „unversorgten“ Messung für den jeweiligen Maskierer	51
Tabelle 5-7: Ergebnisse der Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für den Vergleich der Maskierer in der „versorgten“ und „unversorgten“ Messbedingung	52
Tabelle 5-8: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für den Vergleich der Maskierer	54
Tabelle 5-9: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorie „mühe los“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität	57
Tabelle 5-10: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für die „unversorgten“ Höranstrengungsmessungen	63
Tabelle 5-11: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für die „versorgten“ Höranstrengungsmessungen	65
Tabelle 5-12: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorien „mühe los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität für die „versorgte“ Messung	70
Tabelle 5-13: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorien „mühe los“, „wenig anstrengend“, „mittelgradig anstrengend“ und „extrem anstrengend“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität für die „unversorgte“ Messung	72

Tabelle 5-14: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Höranstrengung („versorgt“ Messung) und die Faktoren des Fragebogens	76
Tabelle 5-15: Gegenüberstellung der Messresultate ermittelt in Kapitel 5.3.1 und der Studie von Holube (2011)	77
Tabelle 5-16: Überblick über die erzielten SRTs für Normalhörende sowie mit („versorgt“) und ohne Hörgeräten („unversorgt“) versorgten Schwerhörigen	78
Tabelle 9-1: Spontane Kommentare der Versuchspersonen in Bezug auf die Verwendung der Skalen	98
Tabelle 10-1: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorie „wenig anstrengend“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität	116
Tabelle 10-2: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorie „mittelgradig anstrengend“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität	117
Tabelle 10-3: Ergebnisse der Pearson-Korrelation für die Bewertungskategorie „extrem anstrengend“ zur Bestimmung der Test-Retest-Reliabilität	118
Tabelle 10-4: Ergebnisse des Post-hoc-Tests (t-Test für abhängige Stichproben) für die Höranstrengungsmessungen	122

## 12.4 Literaturverzeichnis

- Anderson Gosselin, P., & Gagné, J.-P. (2011). Elder adults expend more listening effort than young adults recognizing speech in noise. *J Spech Lang Hear Res* 54, 944-958.
- Brand, T., & Hohmann, V. (2002). An adaptive procedure for categorical loudness scaling. *J Acoust Soc Am* 112(4), 1597-1604.
- Broadbent, D. (1958). Perception and communication. *New York: Pergamon*.
- Buschermöhle, M., Berg, D., Pelz, C., Wagener, K. C., & Kollmeier, B. (2009). Der Hörtest per Telefon in Deutschland – Zwischenbilanz nach einem halben Jahr. *12. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie*.
- CHABA. (1988). Speech understanding and aging. *J Acoust Soc Am* 83(3), 859-895.
- Downs, D. W. (1982). Effects of hearing aid use on speech discrimination and listening effort. *J Spech Hear Disord* 47, 189-193.
- Downs, D. W., & Crum, M. A. (1978). Processing demands during auditory learning under degraded listening conditions. *J Spech Hear Res* 21, 702-714.
- Dreschler, W. A., Verschuure, H., Ludvigsen, C., & Westermann, S. (2001). ICRA noises: Artificial noise signals with speech-like spectral and temporal properties for hearing instrument assessment. *Audiology* 40, 148-157.
- Ewert, S. (2013). AFC - A modular framework for running psychoacoustic experiments and computational perception models. *Proceedings of the International Conference on Acoustics AIA-DAGA 2013*, 1326-1329.
- Feuerstein, J. F. (1992). Monaural versus binaural hearing: Ease of listening, word recognition, and attentional effort. *Ear Hear* 13(2), 80-86.
- Fiedler, I. (2011). Hörschwellenschätzung mittels Registrierung von Distorsionsprodukten otoakustischer Emissionen (DPOAE) und Auditory Steady-State Responses (ASSR). *Diss. Technische Universität München*.
- Fraser, S., Gagné, J.-P., Alepins, M., & Dubois, P. (2010). Evaluating the effort expended to understand speech in noise using a dual-task paradigm: The effects of providing visual speech cues. *J Spech Lang Hear Res* 53, 18-33.
- Fruhmann, M., Chalupper, J., & Fastl, H. (2003). Zum Einfluss von Innenohrschwerhörigkeit auf die Lautheitssummation. *29. Jahrestagung für Akustik der Deutschen Gesellschaft für Akustik*.
- Gatehouse, S., & Gordon, J. (1990). Response times to speech stimuli as measures of benefit from amplification. *British Journal of Audiology* 24, 63-68.
- Gatehouse, S., & Noble, W. (2004). The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ). *Int J Audiol* 43, 85-99.
- Haeder, K., Imbery, C., Heindorf, R., Weber, R., & Holube, I. (2015). Erfassung der subjektiven Höranstrengung und des Hautleitwertes in Hörsituationen mit Nachhall und Störgeräusch bei normalhörenden und schwerhörenden Probanden. *18. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie*.

- Haeder, K., Schepker, H., Holube, I., & Rennies, J. (2014). Zusammenhang von Höranstrengung, Sprachverständlichkeit und SI bei Schwerhörigen. *17. Jahrestagung Deutsche Gesellschaft für Audiologie*.
- Hällgren, M., Larsby, B., Lyxell, B., & Arlinger, S. (2005). Speech understanding in quiet and noise, with and without hearing aids. *Int J Audiol* 44, 574-583.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology* 52, 139-183.
- Hétu, R., Riverin, L., Lalande, N., Getty, L., & St-Cyr, C. (1988). Qualitative analysis of the handicap associated with occupational hearing loss. *British Journal of Audiology* 22, 251-264.
- Hicks, C. B., & Tharpe, A. M. (2002). Listening effort and fatigue in school-age children with and without hearing loss. *J Speech Lang Hear Res* 45, 573-584.
- Hoi Ning Ng, E., Rudner, M., Lunner, T., Pedersen, M. S., & Rönnerberg, J. (2013). Effects of noise and working memory capacity on memory processing of speech for hearing-aid users. *Int J Audiol* 52(7), 433-441.
- Holube, I. (2011). Speech intelligibility in fluctuating maskers. *Proceedings of ISAAR*, 57-64.
- Holube, I. (February 2015). 20Q: getting to know the ISTS. *AudiologyOnline, Artikel 13295*. Von [www.audiologyonline.com](http://www.audiologyonline.com) abgerufen
- Holube, I., Fredelake, S., Vlaming, M., & Kollmeier, B. (2010). Development and analysis of an international speech test signal (ISTS). *Int J Audiol* 49, 891-903.
- Holube, I., Schepker, H., Haeder, K., & Rennies, J. (2014). Listening effort and speech intelligibility in reverberation and noise. *International Hearing Aid Research Conference, Tahoe City, California*.
- Hornsby, B. W. (2012). 20Q: Hearing loss, hearing aids, and listening effort. *AudiologyOnline*.
- Hornsby, B. W. (2013). The effects of hearing aid use on listening effort and mental fatigue associated with sustained speech processing demands. *Ear Hear* 34(5), 523-534.
- Hots, J., & Verhey, J. L. (2015). Experimentelle Erfassung von Tonzuschlägen. *41. Jahrestagung für Akustik der Deutschen Gesellschaft für Akustik*.
- Houben, R., van Doorn-Bierman, M., & Dreschler, W. A. (2013). Using response time to speech as a measure for listening effort. *Int J Audiol* 52, 753-761.
- Huckvale, M., & Leak, J. (September 2009). Effect of noise reduction on reaction time to speech in noise. *Proc. Interspeech*.
- Humes, L. (1999). Dimensions of hearing aid outcome. *J Am Acad Audiol* 10, 26-39.
- Kaernbach, C. (o. J.). Adaptive Hörschwellenmessung. (Hg. I. f. Universität Leipzig)
- Kaernbach, C. (2004). Adaptive Hörschwellenmessung. In: E. Schröger, C. Kaernbach, T. Jacobsen, & K. Jost, *Psychophysik und Audiologie*. Leipzig: Leipziger Universitätsverlag. 27-41.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs New Jersey: Prentice-Hall.



- Klink, K. B., Schulte, M., & Meis, M. (2012a). Measuring listening effort in the field of audiology - a literature review of methods (part 1): Messung von Höranstrengung im Bereich der Audiologie - eine literaturgestützte Methodenübersicht (Teil 1). *Zeitschrift für Audiologie* 51(2), 60-67.
- Klink, K. B., Schulte, M., & Meis, M. (2012b). Measuring listening effort in the field of audiology - a literature review of methods (part 2): Messung von Höranstrengung im Bereich der Audiologie - eine literaturgestützte Methodenübersicht (Teil 2). *Zeitschrift für Audiologie* 51(3), 95-105.
- Kramer, S. E., Kapteyn, T. S., Festen, J. M., & Kuik, D. J. (1997). Assessing aspects of auditory handicap by means of pupil dilatation. *Audiology* 36, 155-164.
- Larsby, B., Hällgren, M., Lyxell, B., & Arlinger, S. (2005). Cognitive performance and perceived effort in speech processing tasks: Effects of different noise backgrounds in normal-hearing and hearing-impaired subjects. *Int J Audiol* 44, 131-143.
- Luts, H., Eneman, K., & Wouters, J. (2010). Multicenter evaluation of signal enhancement algorithms for hearing aids. *J Acoust Soc Am* 127(3), 1491-1506.
- Mackersie, C. L., & Cones, H. (2011). Subjective and psychophysiological indices of listening effort in a competing-talker task. *J Am Acad Audiol* 22(2), 113-122.
- Mason, A. (o. J.). Mushra (multi stimulus test with hidden reference and anchor). *ITU-R BS(1534)*, 82.
- McAuliffe, M. J., Wilding, P. J., Rickard, N. A., & O'Beirne, G. A. (2012). Effect of speaker age on speech recognition and perceived listening effort in older adults with hearing loss. *J Speech Lang Hear Res* 55, 838-847.
- McCoy, S. L., & Tun, P. A. (2005). Hearing loss and perceptual effort: Downstream effects on older adults' memory for speech. *J Exp Psychol* 58A(1), 22-33.
- Meis, M., & Gabriel, B. (2001). Entwicklung, Psychometrie und erste Ergebnisse eines Fragebogens zur Höranstrengung. *Zeitschrift für Audiologie*, 97-99.
- Morimoto, M., Sato, H., & Kobayashi, M. (2004). Listening difficulty as a subjective measure for evaluation of speech transmission performance in public spaces. *J Acoust Soc Am* 116(3), 1607-1613.
- Nachtegaal, J., Kuik, D., Anema, J. R., Goverts, S. T., Festen, J. M., & Kramer, S. E. (2009). Hearing status, need for recovery after work, and psychosocial work characteristics: Results from an internet-based national survey on hearing. *Int J Audiol* 48, 684-691.
- Ortmann, M., Rählmann, S., Schreitmüller, S., Walger, M., & Meister, H. (2013). Die EDA: Ein objektives Maß für Höranstrengung?
- Pichora-Fuller, M. K., & Singh, G. (2006). Effects of age on auditory and cognitive processing: Implications for hearing aid fitting and audiologic rehabilitation. *Trends in Amplif* 10(1), 29-59.
- Picou, E. M., & Ricketts, T. A. (2014). Increasing motivation changes subjective reports of listening effort and choice of coping strategy. *Int J Audiol*.
- Picou, E. M., Ricketts, T. A., & Hornsby, B. W. (2013). How hearing aids, background noise, and visual cues influence objective listening effort. *Ear Hear* 34(5), 52-64.



- Piquado, T., Isaacowitz, D., & Wingfield, A. (2010). Pupillometry as a measure of cognitive effort in younger and older adults. *Psychophysiology* 47(3), 560-569.
- Rabbitt, P. (1968). Channel capacity, intelligibility, and immediate memory. *Q J Exp Psychol* 20, 241-248.
- Rabbitt, P. (1991). Mild hearing loss can cause apparent memory failures which increase with age and reduce with IQ. *Acta Otolaryngologica* 476, 167-176.
- Rennies, J., Schepker, H., Holube, I., & Kollmeier, B. (2014). Relative role of noise and reverberation for listening effort and speech intelligibility: Challenging the speech transmission index.
- Sarampalis, A., Kalluri, S., Edwards, B., & Hefter, E. (2009). Objective measures of listening effort: Effects of background noise and noise reduction. *J Speech Lang Hear Res* 52, 1230-1240.
- Sato, H., Bradley, J. S., & Morimoto, M. (2005). Using listening difficulty ratings of conditions for speech communication in rooms. *J Acoust Soc Am* 117(3), 1157-1167.
- Schlüter, A. (2007). Perzeptive Beurteilung von Sprache im Störgeräusch. Masterarbeit, *Carl von Ossietzky Universität Oldenburg*.
- Schmidt, R. F., Lang, F., & Heckmann, M. (2010). *Physiologie des Menschen: Mit Pathophysiologie*. 31. Aufl. Heidelberg: Springer.
- Schulte, M., Meis, M., & Wagener, K. (2007). Listening effort and speech intelligibility. *10. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie*.
- Schulte, M., Meis, M., & Wagener, K. (2015). Der Höranstrengungs-Fragebogen. *18. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie*.
- Schulte, M., Störmer, V., Holube, I., & Meis, M. (2011). Pupillometrie als objektives Maß für die Höranstrengung. *14. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie*.
- Schulte, M., Vormann, M., Wouters, J., & Wagener, K. (2009). Vergleich der Sprachverständlichkeit und der Höranstrengung am Beispiel einer Multizentrischen Studie. *12. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie*.
- Schulte, M., Wagener, K., Vormann, M., Dillier, N., & Büchler, M. (2008). D-7-4: Report tests for listening effort. *Hearing in the communication society. Public report of the HearCom Project Oldenburg*.
- Singh, G., & Pichora-Fuller, M. K. (2010). Older adults' performance on the speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ): Test-retest reliability and a comparison of interview and self-administration methods. *Int J Audiol* 49(10), 733-740.
- Störmer, V. (2010). Varianz der Pupillengröße als objektives Maß für die Höranstrengung. Bachelorarbeit, *Jade Hochschule Oldenburg*.
- Störmer, V. (2013). Pupillometrie und Höranstrengung in anspruchsvollen Hörsituationen als kognitive Belastungsgröße. Masterarbeit, *Carl von Ossietzky Universität Oldenburg*.
- Taesler, S., & Holube, I. (2009). Einfluss verschiedener Störer auf die Sprachverständlichkeit und die Höranstrengung. *12. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie*.
- Tun, P. A., McCoy, S., & Wingfield, A. (2009). Aging, hearing acuity, and the attentional costs of effortful listening. *Psychol Aging* 24(3), 761-766.

- Wagener, K., Brand, T., & Kollmeier, B. (1999a). Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache II: Optimierung des Oldenburger Satztests. *Zeitschrift für Audiologie* 38, 44-56.
- Wagener, K., Brand, T., & Kollmeier, B. (1999b). Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache III: Optimierung des Oldenburger Satztests. *Zeitschrift für Audiologie* 38, 86-95.
- Wagener, K., Brand, T., & Kollmeier, B. (1999c). Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache I: Optimierung des Oldenburger Satztests. *Zeitschrift für Audiologie* 38, 4-15.
- Zekveld, A. A., Kramer, S. E., & Festen, J. M. (2010). Pupil response as an indication of effortful listening: The influence of sentence intelligibility. *Ear Hear* 31(4), 480-490.
- Zekveld, A. A., Kramer, S. E., & Festen, J. M. (2011). Cognitive load during speech perception in noise: The influence of age, hearing loss, and cognition on the pupil response. *Ear Hear* 32(2), 498-510.