

**Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke  
der Universität Würzburg**

**Direktor: Professor Dr.med. J. Helms**

**Sprachverstehen im Störlärm mit dem HSM-Satztest in der Computerversion  
bei den 30 schlechter hörenden Probanden einer Gruppe von 60 Normalhörenden**

**Inaugural - Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der**

**Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg**

**vorgelegt von**

**Marco Matthias Scherg  
aus Lohr am Main**

**Würzburg, April 2004**

**Referent:** Prof. Dr. med. J. Helms  
**Koreferent:** Prof. Dr. med. F. Schardt  
**Dekan:** Prof. Dr. med. S. Silbernagl

**Tag der mündlichen Prüfung: 09.11.2004**

**Der Promovend ist Zahnarzt**

## INHALT

<b>1. Einleitung</b> .....	1
1.1 Überblick über die Methoden der Audiometrie.....	1
1.1.1 Klassische Hörprüfungen.....	1
1.1.2 Tonaudiometrie .....	1
1.1.3 Allgemeine Kennzeichen der Sprachaudiometrie.....	2
1.1.4 Überblick über gegenwärtige Verfahren der Sprachaudiometrie .....	3
1.2 Problemstellung.....	7
<b>2. Material und Methoden</b> .....	8
2.1 Auswahl der Versuchspersonen .....	8
2.2 Sprachmaterial.....	9
2.3 Auswahl eines Störgeräusches .....	10
2.4 Technisches Material .....	12
2.5 Versuchsanordnung.....	13
2.6 Versuchsablauf.....	14
<b>3. Ergebnisse</b> .....	16
3.1 Aufteilung des Gesamtkollektives .....	16
3.2 Darstellung der Gesamtergebnisse.....	19
3.2.1 Ermittelte SNR-Werte für das Gesamtkollektiv .....	20
3.2.2 SNR-Werte nach Aufteilung des Gesamtkollektivs.....	20
3.3 Ergebnisse der Gruppe -30 .....	23
3.3.1 Vergleich der Messungen bei 60dB und 80dB Störlärm.....	23
3.3.2 Vergleich Gesamtkollektiv mit -30 bei 60dB Störlärm.....	27
3.3.3 Vergleich Gesamtkollektiv mit -30 bei 80dB Störlärm.....	29
3.4 Zusammenhang zwischen Alter und SNR-Wert .....	30
<b>4. Diskussion</b> .....	31
4.1 Aufteilung in zwei Gruppen und Vergleichsgrundlagen.....	31
4.2 Vergleich der Messungen bei 60dB und 80dB Störlärm .....	32
4.3 Vergleich der Gruppe -30 mit dem Gesamtkollektiv .....	32
4.4 Zusammenhang zwischen Alter und Hörleistung.....	34
4.5 Vergleich unserer Ergebnisse mit anderen Arbeiten.....	34
4.6 Vergleich mit den Arbeiten von Lach und Mulfinger.....	38
4.7 Einordnung der Ergebnisse und Ausblick .....	39
<b>5. Zusammenfassung</b> .....	42
<b>6. Literaturverzeichnis</b> .....	44



# **1. Einleitung**

## **1.1 Überblick über die Methoden der Audiometrie**

### **1.1.1 Klassische Hörprüfungen**

Als klassische Hörprüfungen werden insbesondere die Stimmgabeltests und die Hörweitenprüfung bezeichnet. Der Stimmgabeltest dient der primären Differenzierung zwischen Mittelohr- und Innenohrschwerhörigkeit. Beim Weber-Versuch (1834) werden über Knochenleitung beide Ohren miteinander verglichen, beim Rinne-Versuch (1855) Knochenleitung und Luftleitung des einzelnen Ohres. Dem Rinne Versuch kommt gegenwärtig noch ein orientierender Wert zu, wogegen der Weber-Versuch bei der Beantwortung der Frage nach einer notwendigen Vertäubung, weiterhin unentbehrlich ist [21]. Die Prüfung der Hörweite für Flüster- und Umgangssprache ist trotz der modernen Sprachaudiometrie, vor allem für die Begutachtung, auch heute noch eine bewährte Standardmethode der Audiometrie [2]. Voraussetzung für die Prüfung ist ein schallgedämpfter Raum mit einer Mindestlänge von 6 Metern. Fehlerquellen für diese ebenfalls orientierende Hörprüfung, liegen im unterschiedlichen Prüfmaterial, den sprecherabhängigen Variablen Tonhöhe und Artikulation sowie dem Störpegel des Raumes begründet [2]. Alle genannten Hörprüfungen werden zur Überprüfung audiometrischer Ergebnisse von vielen Otologen routinemäßig benutzt [27].

### **1.1.2 Tonaudiometrie**

Die Ermittlung der Hörschwelle mittels eines Tonaudiometers bildet die Grundlage der audiologischen Diagnostik [2]. Mit den entsprechenden Geräten können Aussagen über Hörpegel und Hörverlust in Abhängigkeit von einem definierten Frequenzbereich gewonnen werden. Da die Messungen sowohl für Luft- als auch für Knochenleitung durchgeführt werden, kann mittels eines Vergleichs beider Ergebnisse eine entsprechende Diagnostik betrieben werden. So kann anhand des Audiogramms beispielsweise eine Mittelohrschwerhörigkeit von einer Innenohrschwerhörigkeit und

einer Kombination aus beiden abgegrenzt werden. Dabei muss stets bedacht werden, dass es ein Mensch mit seinen subjektiven Empfindungen ist, der über Hören und Nichthören Auskunft gibt. Deshalb spielen Konzentration und Reaktionsgeschwindigkeit bei audiometrischen Messungen eine ausschlaggebende Rolle [21].

### **1.1.3 Allgemeine Kennzeichen der Sprachaudiometrie**

Das Wissen um die tonaudiometrisch erhobene Hörschwelle eines Patienten alleine reicht nicht aus, um das Ausmaß seiner Hörstörung im Alltag zu erfassen. Das Verstehen eines gesprochenen Wortes stellt eine komplexe Anforderung an das Gehör dar. Gesprochene Worte sind singuläre Ereignisse, die als Intensitäts- und Frequenzmodulation von Schallenergie innerhalb kurzer Zeitabschnitte ablaufen und von unserem Gehör diskriminiert werden müssen. Dem Gehör ist es anders als dem Auge nicht erlaubt, zweimal hinzuhören, denn das schnelle Schallereignis ist in Bruchteilen einer Sekunde verklungen [38].

Die Sprachaudiometrie versucht dieser Gegebenheit gerecht zu werden, indem sie isiert Sprache vorgibt, die vom Probanden entsprechend nachgesprochen wird. Der Grad der Übereinstimmung wird dann mit Werten einer Gruppe von Normalhörenden verglichen. Bezugspunkt stellt die so genannte Sprachverständlichkeitsschwelle dar. Sie ist definiert als der minimale Pegel des Sprachschalls, bei dem 50% der Testeinheiten (Items) richtig verstanden werden [2].

Ein grundlegendes Problem bei der Sprachaudiometrie ist die hohe Zahl von Variablen, die bei einem bestimmten Test berücksichtigt werden müssen. Zu diesen Variablen gehört auch die Art des Tests. Bei den so genannten offenen Tests soll der Proband die ihm dargebotenen Testitems möglichst korrekt wiederholen. Bei den geschlossenen Tests bezeichnet der Proband das richtige Testitem aus einer Liste von möglichen Antworten. Weitere Variable sind zusammengefasst nach Kießling und Kollmeier [16] [18]:

- Art und Länge der Testitems (z.B. einsilbige oder mehrsilbige Wörter oder Sätze),
- Auswertungsmethode (Bewertung richtig erkannter Phoneme, Silben, Wörter oder Sätze),
- Sinngehalt (sinnleer/sinnhaltig)

- Ankündigung (ohne/mit, Satz akustischer Stimulus, Wortwiederholung)
- Sprecher (männlich/weiblich, geschult/ungeschult, synthetische Sprache)
- Störgeräusch (ohne/mit, Modulationsgrad, Spektrum, Dauer, Darbietungsrichtung von Nutzschaall und Störschaall),
- Automatisiert/computergesteuert durchführbar (ja/nein).

Jedes der gebräuchlichen Sprachtestverfahren besitzt eine eigene Kombination dieser Variablen, so dass sich die Testergebnisse nur schwer miteinander vergleichen lassen. Zudem ist die Festlegung der Variablen abhängig vom Einsatzzweck des Tests. Beispielsweise steht bei der Diagnostik von Hörstörungen die analytische Aussagekraft des Tests im Vordergrund, d.h. die Möglichkeit aus den auftretenden Phonemverwechslungen Rückschlüsse auf das gestörte Hörsystem zu ziehen. Bei der Begutachtung stehen dagegen eher eine hohe Reproduzierbarkeit und Genauigkeit des Tests, sowie eine hohe Repräsentanz des Sprachmaterials für die alltägliche Kommunikation im Vordergrund [18].

#### **1.1.4 Überblick über gegenwärtige Verfahren der Sprachaudiometrie**

Die Sprachaudiometrie gehört unbestritten zu den Eckpfeilern des audiometrischen Instrumentariums und ist integraler Bestandteil der audiologischen Diagnostik, der Begutachtung sowie der Hörgeräteindikation und –evaluation [16].

Im Gegensatz dazu zeigte eine Bestandsaufnahme des allgemein verwendeten Sprachmaterials erhebliche Defizite [42].

Im Folgenden soll ein Überblick über gängige Tests in deutscher Sprache gegeben werden.

Der Freiburger Sprachtest, der bereits in den fünfziger Jahren entwickelt wurde (Hahlbrock 1953), stellt im deutschen Sprachraum die am häufigsten verwendete Hörprüfung mit Sprache dar [29]. Der Test besteht aus einem Zahlen- und einem Einsilbentest. Beim Zahlentest werden dem Probanden mehrstellige Zahlen vorgespielt. Der Test gibt 10 Gruppen zu jeweils zehn Zahlen vor. Ausgehend von einem Schallpegel, bei dem der Proband das Material leicht versteht, wird die Lautstärke in 5dB Schritten solange reduziert, bis der Patient Schwierigkeiten hat, die Zahl zu wiederholen. Durch Variation des Prüfschallpegels in 5 dB Schritten wird der Pegel ermittelt, bei dem der Patient 50% der Zahlen versteht. Der gefundene Wert ist als

Sprachverständlichkeitsschwelle definiert. Der Hörverlust für Zahlen wird aus der Differenz zwischen diesem Wert und der Sprachverständlichkeitsschwelle Normalhörender berechnet. Ausgehend von dem ermittelten Wert kann mittels eines Einsilbentests das Sprachverstehen oder die Diskrimination ermittelt werden [2]. Obwohl unterschiedliche Arbeiten die Schwächen des Testmaterials zeigen konnten, wird als entscheidender Vorteil sein Eingang in die Normung (DIN 45621, Teil 1) [6] angeführt [44]. Grundsätzlich hat vielfache Kritik verschiedener Audiologen [2] sowohl am Sprachmaterial als auch an der Durchführung dieses Tests dazu geführt, dass in den letzten Jahren andere Testmaterialien entwickelt wurden. Da jedoch noch keiner dieser Tests eine DIN-Norm-Anerkennung gefunden hat, bildet der Freiburger Sprachverständlichkeitstest auch weiterhin die Basis sprachaudiometrischer Untersuchungen. Erste Schritte zu einer Überarbeitung dieses Tests wurden zwar durch eine Neugruppierung der Testwörter und eine Neuaufsprache getan [9], Kießling [16] fasst die bestehenden Schwachstellen des Freiburger Satztests jedoch wie folgt zusammen:

- Die Phonemverteilung entspricht zwar deutscher Sprache, aber die Phonemübergänge wurden bei der Konzeption der Testlisten nicht berücksichtigt.
- Der Bekanntheitsgrad der Einsilber wurde nicht gewichtet. Einzelne Testlisten sind aufgrund der Korrelation zwischen Verständlichkeit und Bekanntheitsgrad besser verständlich als andere.
- Die Streuung der Messergebnisse ist aufgrund der Beschränkung auf 20 Wörter pro Testliste zu groß.
- Manche Testwörter bergen psychologische Hemmnisse (Aas, Sau, etc.).
- Es existiert kein Ankündigungssignal und kein geeigneter Störschall.
- Die Aufsprache ist technisch veraltet und weist eine übertriebene Artikulation sowie eine unnatürliche Pegelnivellierung auf.

Der Reimtest nach Sotscheck stellt ebenfalls eine Sprachverständlichkeitsprüfung mit Wörtern dar [37]. Dieser geschlossene Test wurde ursprünglich für die Nachrichtentechnik, also zum Beispiel für die Überprüfung von Telefonleitungen entwickelt. Um eine Anwendung in der Sprachaudiometrie zu ermöglichen, wurden Modifikationen von Kollmeier et al. [19] durchgeführt. Bestehende Probleme sind jedoch unter anderem der hohe apparative Aufwand und eine begrenzte Homogenität



des Testmaterials [19]. Teile des Testmaterials sind über eine Verwendung im Göttinger Sprachtest in die Sprachaudiometrie eingebunden worden.

Da bei der Verwendung sinnhaltiger Wörter auch der Umfang des Wortschatzes der jeweiligen Testperson Einfluss auf das Untersuchungsergebnis hat, ist für manche Fragestellungen die Verwendung sinnleerer Wörter (Logatom-Test) zu bevorzugen [16]. Derartige Tests, wie zum Beispiel der Kieler Logatom-Test, finden im deutschsprachigen Raum allerdings noch selten Verwendung [16]. Der Einsatzbereich umfasst derzeit vor allem die Einstellung von Hörgeräten und Sprachprozessoren von Cochlea-Implantaten sowie die Dokumentation der Verlaufskontrolle bei Patienten mit Cochlea-Implantaten [2].

Der neben dem Freiburger Sprachtest auch mit einer DIN-Norm versehene Marburger Sprachverständlichkeitstest (DIN 45621, Teil 2) [7] findet zunehmend weniger Verwendung [44]. Er besteht aus 20 Testlisten zu je 10 Sätzen [2]. Damit das Wortmaterial der Phonemverteilung der deutschen Sprache entspricht, wurden im Test teilweise unvollständige Satzkonstruktionen verwendet. Die Nachbildung einer alltagsnahen Sprachsituation wird damit verfälscht. Darüber hinaus fällt die überdeutlich artikulierte Aussprache des Tests mit einem geschulten Sprecher auf [41]. Der Göttinger Sprachtest besteht aus 20 Listen zu je 10 Sätzen sowie 5 Übungslisten mit je 12 Sätzen. Diese wurden aus dem Marburger Satztest, dem Satztest von Sotscheck und 200 weiteren Sätzen ausgewählt. Ausgehend von einem Inventar von 324 Sätzen wurde bei der Zusammenstellung der Listen auf eine nahezu identische Diskriminationsfunktion, gleiche Wort- und Phonemzahl und eine jeweils an die deutsche Sprache angepasste Phonemverteilung geachtet [47]. Der Ausgang der Messung ist somit nicht von der Wahl der Testlisten abhängig. Als Nachteil des Göttinger Satztests führt Wagener et al., die teilweise sehr hohe Redundanz der Testsätze an [41]. Müller-Deile bemängelt die zu geringe Anzahl von Testlisten für vergleichende Messungen in der Cochlea-Implantat- und Hörgeräteentwicklung [23]. Welzl-Müller nennt als Anwendungsbereich des Göttinger Sprachtests die quantitative Bewertung eines Hörerfolges durch eine Hörgeräteversorgung sowie Sprachverständlichkeitstests mit hochgradig Hörgeschädigten [2].

Die Nutzung von Sätzen zur Beurteilung einer Hörstörung, stellt eine entscheidende Annäherung an die kommunikative Alltagssituation der Patienten dar. Ein grundlegendes Element der täglichen Verständigung wurde jedoch noch nicht

miteinbezogen. Neben der eigentlichen Sprachquelle wird das Gehör ständig mit Störschall konfrontiert. In der Audiometrie werden daher entweder bestehende Tests, wie der Freiburger Sprachtest, mittels Störschall modifiziert oder neuere Testverfahren genutzt, welche Störschall bereits in die Konzeption mit einbeziehen.

Beim Oldenburger Satztest (OLSA), der von Wagener et al. [41] in Anlehnung an den schwedischen Satztest nach Hagermann (1984) entwickelt wurde, ist dies der Fall [16]. Die Sätze werden randomisiert aus einem Wörternvorrat von je 10 verschiedenen Subjekten (Vornamen), Verben, Zahlwörtern, Adjektiven und Objektiven erzeugt. Der Sinngehalt der so gebildeten Sätze ist niedrig, die Redundanz ist somit ebenfalls gering. Bei der Aufsprache wurde ein ungeschulter, erfahrener Sprecher gewählt. Die Evaluation des OLSA hat eine hohe Homogenität der Testlisten ergeben. Ein unmodulierter Störschall mit identischem Spektrum steht zur Verfügung [16].

Der Hochmair–Schulz–Moser–Satztest (HSM–Satztest) [14] wurde ursprünglich zur Anpassung von Cochlea–Implantaten entwickelt. Schon die ersten Untersuchungen wiesen auf unterschiedliche Ergebnisse bei Tests mit und ohne Störschall hin [32]. Das verwendete Satzmaterial und der eingesetzte Störlärm werden im Kapitel Material und Methoden dargestellt. Nach verschiedenen Modifikationen steht er für unsere Untersuchungen in der Computerversion zur Verfügung. Die Testsätze werden dabei als Wave-Datei direkt vom PC eingespielt, eine automatische Pegelanpassung in Abhängigkeit von der vorangegangenen Patientenantwort ist ebenfalls möglich. Neben dem vorgegebenen Nutz- und Störschallpegel kann auch der Test an sich modifiziert werden. So steht neben dem HSM-Standardtest eine Modifikation nach Bocca und Calero mit verschiedenen, so genannten Chopper-Frequenzen zur Verfügung. Das ausgegebene Nutzsignal wird dabei mit vorgegebener Frequenz zerhackt und abwechselnd von beiden Lautsprechern eingespielt. Der HSM–Test bietet mit seinen verschiedenen Varianten neben der Betreuung von Patienten mit Cochlea–Implantaten weitere Einsatzmöglichkeiten. So ist beispielsweise sowohl bei der Auswahl als auch bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Hörgerätes ein Sprachtest mit Störlärm von großer diagnostischer Bedeutung. Eine steigende Leistungsfähigkeit von Hörgeräten kann nur mit möglichst alltagsnahen Testmethoden verifiziert werden. Wie langfristige Nachuntersuchungen zeigten, hängt der Erfolg einer Hörgeräteversorgung weniger von der maximalen Einsilbenverständlichkeit als von der Satzverständlichkeit bei Störlärm ab [2]. Bei der optimalen Anpassung und Auswahl eines geeigneten

Hörgerätes erscheint ein Satzverständlichkeitstest mit Hintergrundgeräusch heute als unverzichtbar [21].

Es wird deutlich, dass jede Testanforderung einen entsprechenden Test erfordert. So ist beispielsweise für eine Verlaufskontrolle mit immer wieder erforderlichen Messungen, wie sie bei CI – Patienten durchgeführt wird, ein besonders umfangreiches Angebot an Testsätzen nötig um einen Lerneffekt auszuschließen. Dagegen wird es für eine einmalige Untersuchung in besonderem Maße auf die Ausgewogenheit der Testlisten ankommen. Andere Fragestellungen, wie zum Beispiel arbeitsrechtliche Untersuchungen, werden entsprechend normierte Testsituationen mit maximaler Vergleichbarkeit besonders in den Mittelpunkt stellen.

Tests mit einsilbigem Sprachmaterial haben den Vorteil einer geringen Redundanz (d.h. aus einem richtig erkannten Teil eines Wortes kann nicht auf den anderen, unverständlichen Teil des Wortes geschlossen werden) und bieten eine hohe analytische Aussagekraft bei den auftretenden Phonem–Verwechslungen. Die Zweisilber-Tests sind für die deutsche Sprache eher repräsentativ als die Einsilber-Tests, da Zweisilber im Deutschen häufiger auftreten. Die Sprachtests mit Sätzen bieten dagegen eine sehr realitätsnahe Kommunikationssituation [18].

## **1.2 Problemstellung**

Die moderne Audiometrie hat verschiedene Testverfahren hervorgebracht, die das Gehör weitaus realitätsnäher testen als die traditionelle Tonaudiometrie. Die Ermittlung der Hörschwelle alleine reicht nicht aus, um den subjektiv vom Patienten verspürten Hörverlust zu erfassen. Die Sprachverständlichkeitsschwelle wird diesem Anspruch gerechter. Mit der Möglichkeit, diesen Wert mittels Sprachaudiometrie mit Störschall zu erfassen, ergeben sich neue Überlegungen, auch im Bereich der Ätiologie von Hörstörungen. So stellt sich zum Beispiel die Frage, ob die Fähigkeit des Hörens im Lärm mit steigendem Alter abnimmt.

Es gibt Hinweise, dass ältere Hörer im Vergleich zu jüngeren größere Schwierigkeiten haben, bei ungünstigen Bedingungen Sprache zu verstehen. Eine entsprechende Presbyakusis alleine scheint dafür nicht der Grund zu sein. [40].

Im Rahmen unserer Untersuchungen werden HSM-Satztests mit einem Probandenkollektiv im Alter um 50 Jahre durchgeführt. Menschen dieser Altersgruppe

zeigen bereits verschiedenartige Erscheinungen der körperlichen Alterung, sind in der Regel jedoch noch voll berufstätig. Eine reduzierte Fähigkeit im Störlärm zu hören, wirkt sich folglich besonders spürbar aus.

Durch geeignete Auswertungsverfahren soll das Probandengut in besser und schlechter Hörende aufgeteilt werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Ergebnisse der schlechter hörenden Probanden mit dem HSM-Standardtest dargestellt. Innerhalb dieser Gruppe soll nach möglichen Auffälligkeiten gesucht werden. Eine Abhängigkeit des Hörverlusts vom Alter soll innerhalb des eigenen Probandenkollektivs untersucht werden. Darüber hinaus werden die ermittelten Werte mit ähnlichen Untersuchungen jüngerer Probanden verglichen. Die Werte der zwei gemessenen Schallpegelniveaus werden ebenfalls auf Unterschiede überprüft. Vergleiche mit den Ergebnissen aus HSM-Tests mit einer Modifikation nach Bocca – Calearo sollen nach Hinweisen auf die Lokalisation der verminderten Hörleistung untersucht werden. Die ermittelten Werte sollen darüber hinaus als Vergleichsgrundlage für weitere Tests mit vergleichbarem Aufbau dienen.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Auswahl der Versuchspersonen**

Als Testpersonen stellten sich zum einen Bekannte, zum anderen Patienten, die sich stationär in der Augenklinik befanden, zur Verfügung. In Zusammenarbeit mit drei weiteren Doktoranden wurden insgesamt 60 Probanden getestet. Anhand der ermittelten S/N Ratios (SNR) wurde das Probandengut in zwei Gruppen aufgeteilt. Der SNR-Wert errechnet sich aus der Differenz zwischen Signalpegel und Störgeräuschpegel. Je niedriger der SNR-Wert in Abhängigkeit vom Satzverständnis ist, desto besser ist das Verstehen im Lärm. In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse der 30 Probanden ausgewertet, deren Testergebnisse qualitativ unter dem Median lagen (-30).

Getestet wurden insgesamt 30 Frauen und 30 Männer im Alter zwischen 40 und 58 Jahren. Die entsprechende Teilgruppe setzt sich aus 15 Frauen und 15 Männern zwischen 45 und 58 Jahren zusammen. Der Altersdurchschnitt des Gesamtkollektivs betrug 51,0 Jahre, das Durchschnittsalter der Teilgruppe (-30) 51,8 Jahre. Bedingung für die Aufnahme in die Testreihe war neben dem Alter um 50 Jahre, die eigene

Einschätzung als normalhörend sowie der anamnestische Ausschluss otologischer Vorerkrankungen.

Die Muttersprache der Probanden sollte deutsch sein. Die Begründung dieser Voraussetzung liegt in der zentralen Verarbeitung von Sprachlauten. Verständniskonzepte, die vor allem beim Hören unter erschwerten Bedingungen von großer Bedeutung sind, können bei non nativ speakern nicht im gleichen Maße vorausgesetzt werden wie bei nativ speakern [34]. Eine mögliche Begründung für diese Beobachtung ist die Annahme, dass Verständniskonzepte vor allem im Kindesalter ausgebildet werden [10].

## **2.2 Sprachmaterial**

Unsere Versuche wurden mit dem HSM-Satztest durchgeführt. Dieser besteht in der Computerversion aus 30 Testgruppen zu je 10 Kurzsätzen, zusätzlich stehen drei Übungsgruppen zur Verfügung. Die Satzlänge liegt zwischen 3 und 8 Wörtern mit ein bis vier Silben. Es sind Frage-, Aussage- und Ausrufsätze ausgewählt worden. Sowohl die phonetische Ausgewogenheit als auch die Ausgewogenheit der Testgruppen wurde unter anderem von Schuh, Strohmaier und Zimmermann bestätigt [30, 39, 50].

Fabian von Klinzig, Nachrichtensprecher des Bayerischen Rundfunks, hat die Aufnahmen mit einer etwas reduzierten Sprechgeschwindigkeit gesprochen. Auf diese Weise sollte das Fehlen eines entsprechenden Kontextes, der bei der Erschließung des jeweiligen Satzes von Bedeutung ist, kompensiert werden. Die Artikulation erfolgte bewusst umgangssprachlich, um der Forderung nach der Konstruktion einer Alltagssituation nachzukommen.

Im Sinne dieser Anforderung ist auch die Auswahl der einzelnen Wörter getroffen worden. Sie stammen alle aus dem alltäglichen Sprachgebrauch. Die Redundanz wurde gegenüber dem Marburger Satztest reduziert, indem Sprichworte vermieden und einige false cues eingebaut wurden („ist der Ball rot“ statt „ist der Ball rund“).

Bei diesem Test handelt es sich um einen so genannten offenen Test. Das Testitem wird dem Probanden dargeboten, anschließend soll er dieses möglichst korrekt wiederholen. Der Unterschied zu einem geschlossenen Test liegt dabei im Fehlen einer Liste von möglichen Antworten.

## 2.3 Auswahl eines Störgeräusches

Die Anwesenheit eines bzw. mehrerer Störsignale, welche die Erkennung des Nutzsignals erschweren, ist Kennzeichen vieler alltäglicher Kommunikationssituationen. Das Maß an Kommunikationsfähigkeit wird somit grundlegend von der Fähigkeit bestimmt, in sozialen sowie beruflichen Situationen das Nutzsprache von einem Störsignal zu diskriminieren. Durch die Untersuchung mit Störlärm sind so, über die durch die Hörstörung bedingte Einschränkung der Sprachverständlichkeit unter alltäglichen Bedingungen, noch weitere Informationen zu erhalten [2]. Aus den bisher vorliegenden Untersuchungen mit Störschall ergeben sich völlig neue Aspekte der Sprachverständlichkeit gegenüber den in Stille gefundenen Ergebnissen [2]. Smoorenburg et al. [35] beschreiben beispielsweise, dass die Korrelation zwischen Sprachverständnis in Ruhe und im Lärm gering ist. Schultz-Coulon zeigte, dass Patienten mit sensorineuralen Störungen, besonders jene, mit zunehmendem Hörverlust, bei hohen Frequenzen durch Störlärm wesentlich stärker beeinflusst werden [32]. Eine Bewertung der Kommunikationsfähigkeit, also einer dem Sprachverständnis übergeordneten Leistung, erfordert im Rahmen eines Satztests somit die Anwesenheit eines Störsignals. Im Gegensatz zur Sprachaudiometrie ohne Hintergrundlärm gibt es jedoch für die Prüfung mit Störschall keine isierten Verfahren [2].

In der vorliegenden Untersuchung haben wir uns für das Störgeräusch nach CCITT entschieden. Im Folgenden soll diese Auswahl begründet werden.

Das in Untersuchungen von Morales-Garcia und Poole (1972) eingesetzte weiße Rauschen hält Schultz-Coulon für ungeeignet, da es die Tatsache, dass die meisten Umweltgeräusche ihren Hauptenergieanteil unter 1 kHz haben nicht ausreichend wiedergibt [32]. Ausgehend von der Überlegung, dass die menschliche Sprache selbst ein sehr häufiges Störgeräusch innerhalb einer alltäglichen Kommunikationssituation darstellt, zog Schultz-Coulon zwei Geräuschtypen in die engere Wahl: die Störsprache nach Niemeyer [24] und das zu Prüfzwecken in der Nachrichtentechnik entwickelte so genannte sprachsimulierende Rauschen nach CCITT. Schultz-Coulon zeigte in Untersuchungen, dass die Störsprache das Satzverständnis signifikant stärker beeinträchtigt als ein gleichmäßiges Rauschen gleicher Lautstärke und vergleichbarer spektraler Energieverteilung. Als Erklärung vermutete er die psychologische Beeinflussung des Zuhörers, dessen Aufmerksamkeit durch das zwar unverständliche

aber doch sehr stimmähnliche Hintergrundgemurmel, immer wieder vom eigentlichen Sprachsignal ablenkt. Da man davon ausgehen kann, dass sich diese zusätzliche psychologische Störwirkung individuell stark unterschiedlich auswirkt, erscheint dieser Effekt im Sinne einer Testung des Gehörs als ungünstig [32]. Darüber hinaus handelt es sich bei dem Rauschen nach CCITT um ein wesentlich genauer definiertes Geräusch. Sotscheck verglich 1985 die Beeinträchtigung Normalhörender durch Dauerrauschen mit der durch Sprache eines einzelnen Sprechers [36]. Dabei ergab sich eine wesentlich stärkere Beeinträchtigung durch das Dauerrauschen. Als Begründung vermutete er die Möglichkeit, Nutzsignale in Sprechpausen der Störsprache zu erkennen. Ausgehend von diesem Ergebnis entwickelte Fastl ein Störgeräusch, das neben dem spektralen Kriterium auch die zeitliche Struktur mit einbezieht [8]. Durch die Modulation der Amplitude von sprachbewertetem Rauschen nach CCITT Rec. G 227 mit der zeitlichen Hüllkurve von Sprache eines Sprechers erzeugte er ein Störgeräusch, dessen spektrale und zeitliche Hüllkurve im Mittel derjenigen von fließender Sprache entspricht. Fastl geht davon aus, dass dieses neu gewonnene Störgeräusch den beiden Polen „Cocktailparty“ auf der einen und „ein störender Sprecher“ auf der anderen Seite gerecht wird. Die Ausführungen von Fastl und Sotscheck gehen jedoch beide von Sprache als alleinigem Störgeräusch aus [8] [36]. Da wir in der vorliegenden Arbeit auch die Anwesenheit von Umweltgeräuschen nicht vollständig ausklammern wollen, erscheint das Rauschen nach CCITT als geeignet. Anhand der Parameter Frequenzspektrum, Schalldruckpegel und zeitlicher Struktur werden sowohl ein Hintergrundgeräusch wie es durch mehrere Sprecher entsteht als auch alltägliche Umweltgeräusche ausreichend repräsentiert (Abbildung 1). Daneben bietet es als genormtes Geräusch eine gute Vergleichsgrundlage.

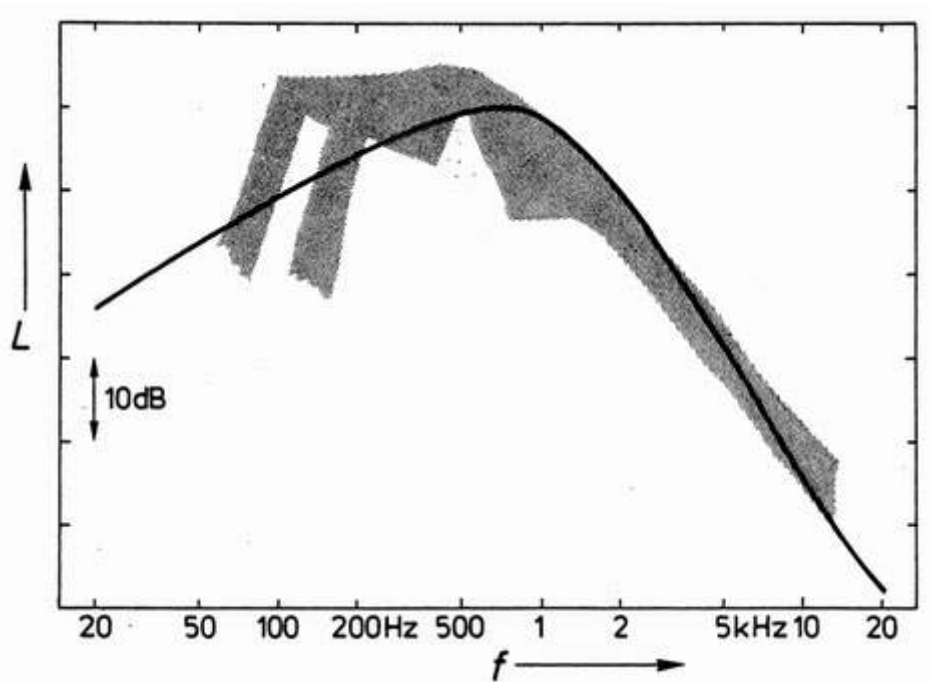


Abbildung 1: Vergleich zwischen der Spektralverteilung von Sprache und Rauschen nach CCITT.

## 2.4 Technisches Material

### Lautsprecher:

Manger Schallwandler Zerobox 109

### Systemdaten:

Impedanz: 4 Ohm

Anstiegszeit: 13  $\mu$ s

Empfindlichkeit: 88 dB 1W/1m

### Vorverstärker:

Technics SU – C 909U

### Endstufe:

Technics SE – A909S

### Computer:

Maxdata mit Intel Celeron Prozessor und USB-Soundkarte

Computerversion des HSM – Satztests, mit Sprachaufzeichnung im Wave - Format



## 2.5 Versuchsanordnung

Als Versuchsraum diente eine schallisolierte Hörprüfkabine der HNO-Universitätsklinik Würzburg. Die Kabine erfüllt die Anforderungen nach ISO 8253a. Um ein unerwünschtes Störgeräusch durch die Kühlung des erforderlichen Computers zu vermeiden, befindet sich dieser außerhalb der Prüfkabine. Die beiden Lautsprecher, die sowohl Störschall als auch Nutzsignal emittierten, befanden sich in einem Winkel von jeweils  $45^\circ$  zum Kopf des Probanden. Der gewählte Abstand von einem Meter ist in der sprachaudiometrischen Praxis verbreitet [44] und entspricht der Forderung nach einer realistischen Alltagssituation, da Kommunikation sehr häufig über etwa diese Entfernung stattfindet. Die Lautsprecher befanden sich auf Ohrhöhe des sitzenden Probanden. Der Proband wurde aufgefordert, die Kopfposition möglichst nicht zu verändern. Abbildung 2 zeigt eine Skizze der Versuchsanordnung.

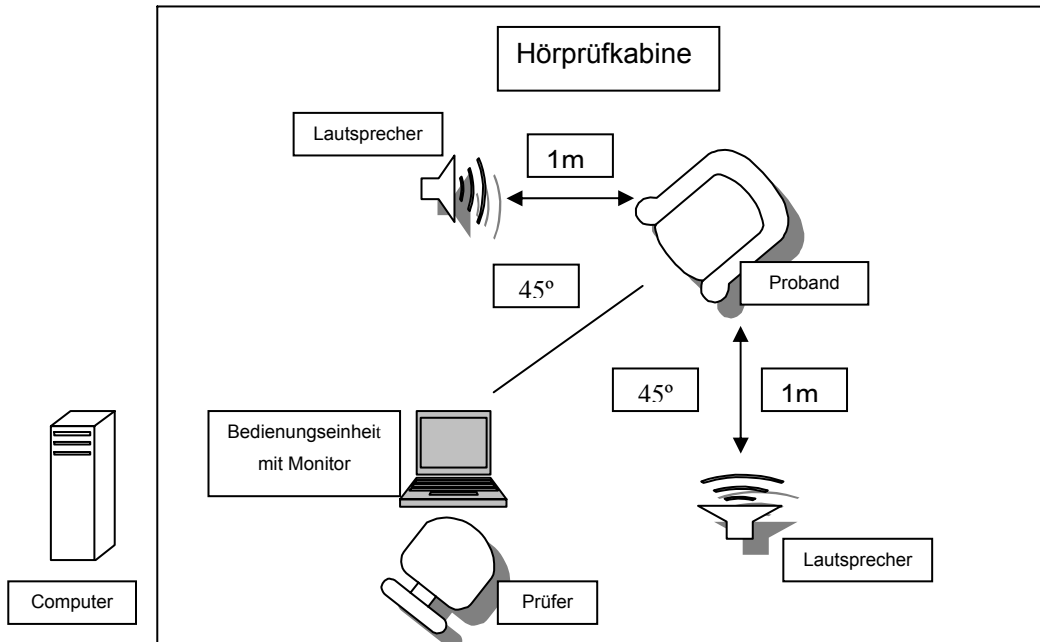


Abbildung 2: Versuchsanordnung

## 2.6 Versuchsablauf

Durchgeführt wurden jeweils vier unterschiedliche Messungen. Vor jeder Testgruppe mit jeweils 10 Sätzen wurde eine Übungsgruppe verwendet. Diese diente zum einen als Übung für die Probanden, zum anderen wurde ein Ausgangswert für die folgende Testgruppe ermittelt. Der entsprechende SNR-Wert der Übungsgruppe diente somit als Startwert für die tatsächliche Messung. Folgende Messungen wurden bei allen Probanden durchgeführt:

HSM-Standard mit jeweils 60dB Anfangswert für Stör- und Nutzsinal

HSM-Standard mit jeweils 80dB Anfangswert für Stör- und Nutzsinal

HSM-Typ Bocca-Calearo 50ms, mit jeweils 60dB Anfangswert für Stör- und Nutzsinal

HSM-Typ Bocca-Calearo 50ms, mit jeweils 80dB Anfangswert für Stör- und Nutzsinal

Die Pegel für das Störsignal wurden dabei nicht willkürlich festgelegt, sondern ebenfalls der Vorgabe nach der Konstruktion einer alltagsnahen Testanordnung entsprechend gewählt. 60dB Störschallpegel repräsentiert zum Beispiel in etwa den Wert, den man in der Schalterhalle einer Bank antreffen könnte, 80dB ungefähr den Schallpegel an einer innerstädtischen Verkehrskreuzung. Weitere Beispiele für alltägliche Störschallpegel sind in Tabelle 1 dargestellt.

Schallquelle	Pegel
Space shuttle auf 100m Abstand	165dB
Rockband mit 4m Abstand	120dB
U-Bahn	100dB
Stadtverkehr	80dB
normales Gespräch in 1 m Entfernung	60dB
Mücke	40dB
Flüstern in 1m Abstand	20dB
normales Atmen 10 dB	10dB

**Tabelle 1: Ausgewählte Beispiele für Störschallpegel**

Zu Beginn des Tests wurden alle Probanden nach etwaigen bekannten Hörstörungen befragt.

Probanden mit positiver Auskunft wurden vom Test ausgeschlossen. Dem Proband wurde dann kurz der Ablauf des Tests erklärt. Die Probanden wurden aufgefordert, alle verstandenen Satzteile zu wiederholen. Auch sinnlos erscheinende Satz- und Wortteile sollten wiedergegeben werden, um möglichst alles Wahrgenommene in die Wertung mit einbeziehen zu können.

Die Computerversion des HSM–Satztest bietet im Gegensatz zu früheren Testversionen den Vorteil der adaptiven Pegelsteuerung. Entsprechend des Sprachverständnisses wird der Pegel des Nutzsignals dahingehend variiert, dass nach 10 Testsätzen in etwa ein Sprachverständniswert von 50 %, bezogen auf die 10 Testsätze, ermittelt wird. Durch anklicken des Testsatzes wird die entsprechende Wave–Datei eingespielt. Der erste Satz jeder Übungsgruppe wird mit SNR 0 eingespielt. Das Störgeräusch beginnt dabei einige Sekunden vor dem Sprachsignal. Dadurch wird ein Ankündigungseffekt erreicht. Der Proband gibt nach der Wiedergabe an, was er verstanden hat. Dabei sollen auch einzelne Worte und Satzteile, die scheinbar keinen Sinn ergeben, genannt werden. Der Prüfer wertet die Antwort, wobei ihm die Vorgaben - 0%, 33%, 66% und 100% richtig verstanden - zur Verfügung stehen.

Entsprechend der Eingabe reduziert oder erhöht das Computerprogramm den Signallevel nach folgendem Schema:

0 %	korrekt: Signallevel +2 dB
33 %	korrekt: Signallevel +1 dB
66 %	korrekt: Signallevel -1 dB
100 %	korrekt: Signallevel -2dB

Der Noiselevel bleibt für jede Messreihe konstant. Die Messergebnisse werden dabei direkt in eine Datenbank abgelegt und gespeichert.

Bei derartigen Messungen stehen unterschiedliche Variationsmöglichkeiten zur Auswahl. Grebe ermittelte beispielsweise bei seinen Untersuchungen mit dem HSM–Satztest ein dynamisches Bild der Diskriminationsleistung, in dem sowohl der Störschallpegel als auch die S/N-Ratios nach einem definierten Schema verändert wurde [11]. Auf diese Weise wurde in etwa der Bereich 30 – 90 % Satzverständnis erfasst. Adaptive Messungen, wie sie von uns verwendet wurden, eignen sich dagegen

besser für die Ermittlung von Wahrnehmungsgrenzen. Durch die automatische Anpassung der Anforderungen an Hand des vorausgegangenen Satzverständnisses konnte die Sprachverständnisschwelle für die jeweilige Testgruppe problemlos ermittelt werden. Der Test erlaubt somit eine weitestgehend automatisierte Durchführung, der heute besondere Bedeutung zukommt [16]. Konkrete Vorteile im Vergleich zur manuellen Durchführung sind insbesondere die Zeitoptimierung durch die computergestützte, adaptive Pegelsteuerung, die Anpassung an die individuelle Antwortgeschwindigkeit und die automatische Speicherung der Daten. Die Dauer für eine Testreihe mit jeweils vier Übungsgruppen und vier Testgruppen lag bei 25 bis 30 Minuten. Die Akzeptanz der durchgeführten Tests war bei den Probanden sehr gut.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1 Aufteilung des Gesamtkollektives**

Nach Abschluss der Messungen wurde das Gesamtkollektiv, bestehend aus 60 Probanden, in zwei Gruppen aufgeteilt. Entsprechend der Aufgabenstellung sollten dabei die 30 schlechter Hörenden von den 30 besser Hörenden getrennt werden. Als Grundlage für die Aufteilung dienten die Messergebnisse mit dem HSM-Standardtest bei 60 dB Störlärm. Ist ein Proband entsprechend seines Testergebnisses beim Standardtest mit 60dB der Gruppe der schlechter Hörenden zuzuordnen, schließt dies nicht aus, dass der gleiche Proband beispielsweise beim HSM-Standard mit 80dB ein überdurchschnittliches Ergebnis erreicht.

Eine übliche Methode zum Vergleich derartig ermittelter Werte ist die Berechnung der so genannten Sprachverständlichkeitsschwelle (speech reception threshold, SRT, speech recognition threshold level). Diese stellt den minimalen Pegel des Sprachschalls dar, den der jeweilige Proband benötigt, um 50% der Testitems richtig verstehen zu können. Der Wert für die 50%ige Sprachverständlichkeit ist insbesondere daher von Vorteil, da der Graph aus der Sprachverständlichkeit in % und dem zugeordneten SNR in diesem Punkt in der Regel die größte Steigung aufweist. Die Vergleichbarkeit der Einzelergebnisse ist an diesem Punkt des individuell ermittelten Graphen am besten gegeben.

Zur Ermittlung des jeweiligen 50%igen Satzverständnisses wurden die Messdaten zunächst für jeden Proband in die allgemeine Geradengleichung eingesetzt und diese nach  $t$  aufgelöst.

$$(1) \quad y = mx + t \quad \Longleftrightarrow \quad t = y - mx$$

$y$  = verstandene Testitems in %;       $m$  = durchschnittliche Steigung in %/dB  
 $x$  = Signalpegel;                               $t$  = gesuchte Konstante in %

Der so ermittelte Wert für  $t$  wurde wiederum in die Geradengleichung eingesetzt, wobei  $y$  gleich **50** gesetzt wurde. Die Gleichung wurde anschließend nach  $x$  aufgelöst.

$$(2) \quad 50 = mx + t \quad \Longleftrightarrow \quad x = (50 - t) / m$$

Der ermittelte  $x$ -Wert stellt den Signalpegel dar, welcher nötig ist, um 50% der eingespielten Testitems zu verstehen. Die Verteilung der Messergebnisse wird in Abbildung 3 veranschaulicht. Die Einzelergebnisse sind in Tabelle 2 dokumentiert.

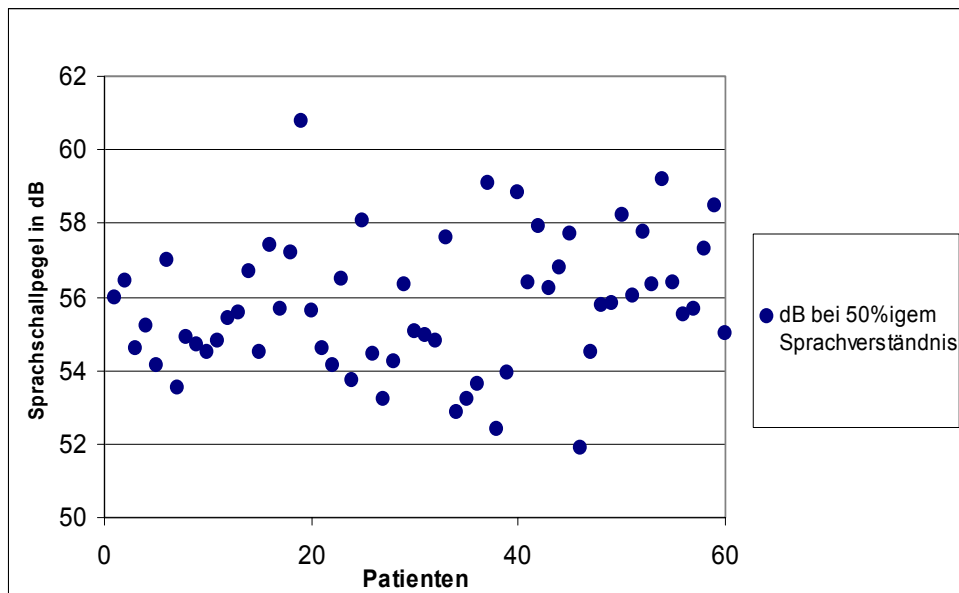


Abbildung 3: Verteilung der 50% Werte des Gesamtkollektivs mit HSM-Standard bei 60dB

Nummer	IDPATAUD	50%		Nummer	IDPATAUD	50%
1	89	56		31	246	54,9
2	90	56,4		32	247	54,8
3	106	54,6		33	248	57,6
4	107	55,2		34	249	52,9
5	117	54,1		35	250	53,2
6	118	57		36	251	53,6
7	119	53,5		37	252	59,1
8	127	54,9		38	253	52,4
9	128	54,7		39	254	53,9
10	135	54,5		40	255	58,8
11	136	54,8		41	256	56,4
12	139	55,4		42	257	57,9
13	140	55,6		43	258	56,2
14	142	56,7		44	259	56,8
15	143	54,5		45	260	57,7
16	144	57,4		46	261	51,9
17	145	55,7		47	262	54,5
18	146	57,2		48	263	55,7
19	147	60,8		49	264	55,8
20	148	55,6		50	265	58,2
21	149	54,6		51	266	56
22	198	54,1		52	267	57,8
23	199	56,5		53	268	56,3
24	205	53,7		54	269	59,2
25	206	58,1		55	271	56,4
26	217	54,4		56	272	55,5
27	242	53,2		57	273	55,7
28	243	54,3		58	274	57,3
29	244	56,3		59	275	58,5
30	245	55,1		60	276	55

**Tabelle 2: 50% Satzverständnis mit HSM-Standard bei 60dB**

Von den jeweiligen Signalpegeln wird anschließend der Median ermittelt. Dieser liegt bei 55,65 dB. Die Gruppe der 30 schlechter hörenden Probanden, also mit Signalpegeln über 55,65 dB, ist in Tabelle 3 dargestellt.

Nummer	IDPATAUD	50%		Nummer	IDPATAUD	50%
1	89	56		16	257	57,9
2	90	56,4		17	258	56,2
3	118	57		18	259	56,8
4	142	56,7		19	260	57,7
5	144	57,4		20	263	55,7
6	145	55,7		21	264	55,8
7	146	57,2		22	265	58,2
8	147	60,8		23	266	56
9	199	56,5		24	267	57,8
10	206	58,1		25	268	56,3
11	244	56,3		26	269	59,2
12	248	57,6		27	271	56,4
13	252	59,1		28	273	55,7
14	255	58,8		29	274	57,3
15	256	56,4		30	275	58,5

**Tabelle 3: 50% Satzverständnis mit HSM-Standard 60dB für Gruppe -30**

### **3.2 Darstellung der Gesamtergebnisse**

An dieser Stelle sollen kurz die Gesamtergebnisse sämtlicher von uns durchgeführter Tests dargestellt werden. Im weiteren Verlauf des Ergebnisteils dieser Arbeit wird dann ausschließlich die Gruppe der 30 schlechter Hörenden (-30) für den HSM-Standardtest mit 60 und 80 dB beschrieben. Die Gruppe der 30 besser Hörenden (+30) sowie die entsprechenden Ergebnisse mit der Modifikation im Sinne nach Bocca und Calero (50ms) sind Gegenstand anderer Doktorarbeiten.

### 3.2.1 Ermittelte SNR-Werte für das Gesamtkollektiv

COPPFREQ	NOISE	N	Mittelwert für SNR in dB	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
0ms	60	60	-4.248	1.8077	0.2334
	80	60	-4.880	1.8047	0.2330
50ms	60	60	1.306	2.2055	0.2847
	80	60	0.992	2.2830	0.2947

Tabelle 4: Gesamtergebnisse

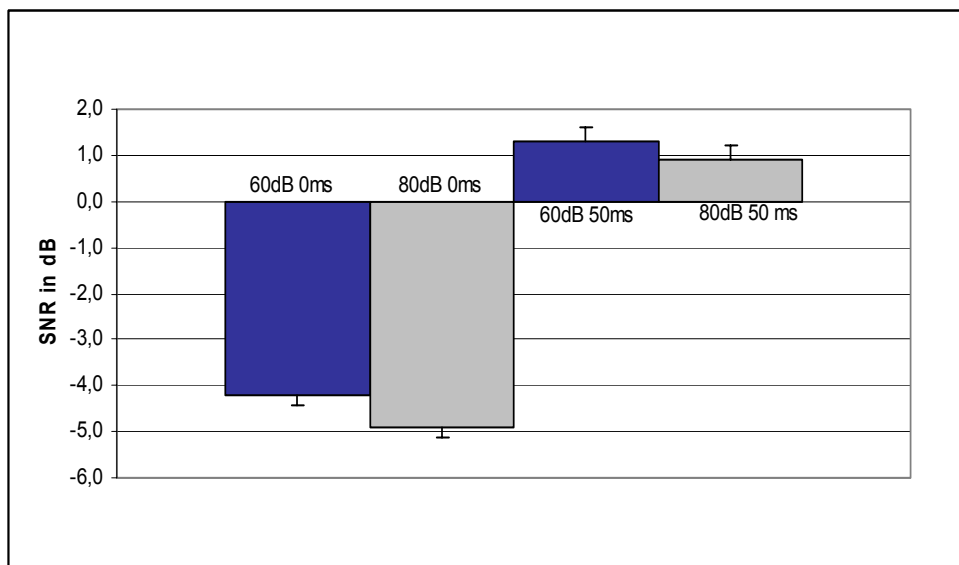


Abbildung 4: Gesamtergebnisse

### 3.2.2 SNR-Werte nach Aufteilung des Gesamtkollektivs

In Abbildung 5 sind die Messergebnisse der besseren und der schlechteren Hörer gegenübergestellt, zum Vergleich ist auch das Gesamtkollektiv dargestellt. Der Mann-Whitney-Test (Tabelle 5 und 6), ein nicht parametrischer Test, der dem T-Test entspricht, zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den von uns gebildeten Gruppen der 30 schlechter Hörenden und der 30 besser Hörenden für alle vier Testvarianten. Es wird getestet, ob zwei unabhängige Stichproben aus der gleichen Gesamtheit stammen. Er ist aussagekräftiger als der Median-Test, da er die Fallränge zugrunde legt.



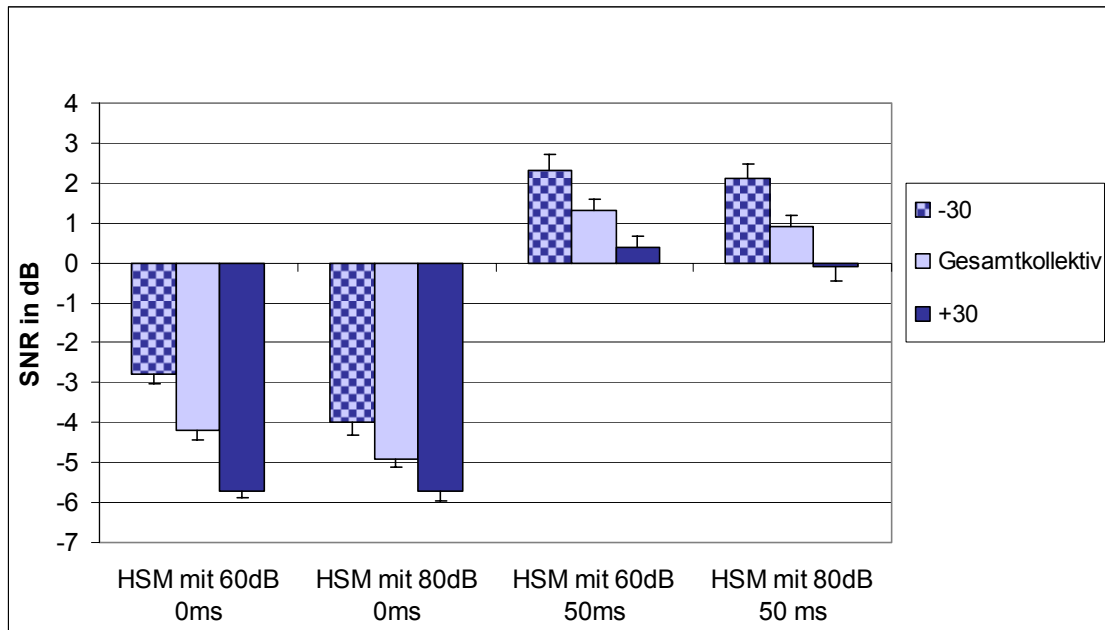


Abbildung 5: SNR-Werte nach Aufteilung

COPPFREQ	Gruppe	NOISE	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
0ms	plus 30	60	30	15.50	465.00
		80	30	45.50	1365.00
		Gesamt	60		
	minus 30	60	30	15.50	465.00
		80	30	45.50	1365.00
		Gesamt	60		
50ms	plus 30	60	30	15.50	465.00
		80	30	45.50	1365.00
		Gesamt	60		
	minus 30	60	30	15.50	465.00
		80	30	45.50	1365.00
		Gesamt	60		

Tabelle 5: Mann-Whitney-Test: Ränge

<b>COPPFREQ</b>	<b>Gruppe</b>		<b>dB-50</b>
0ms	<b>plus 30</b>	Mann-Whitney-U	0.000
		Wilcoxon-W	465.000
		Z	-6.653
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0.000
	<b>minus 30</b>	Mann-Whitney-U	0.000
		Wilcoxon-W	465.000
		Z	-6.653
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0.000
50ms	<b>plus 30</b>	Mann-Whitney-U	0.000
		Wilcoxon-W	465.000
		Z	-6.653
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0.000
	<b>minus 30</b>	Mann-Whitney-U	0.000
		Wilcoxon-W	465.000
		Z	-6.653
		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0.000

**Tabelle 6: Mann-Whitney-Test: Statistik**

**Legende:**

**COPPFREQ:** Zerhackungsfrequenz, bei HSM-Standard 0ms, modifiziert nach Bocca und Calero 50ms.

**dB-50:** SNR für 50%iges Satzverständnis

**Mann-Whitney-U:** Anzahl, wie oft ein Wert in der ersten Gruppe einem Wert in der zweiten Gruppe vorausgeht, wenn die Werte in aufsteigender Reihenfolge sortiert sind.

**Wilcoxon-W:** Ein nicht parametrischer Test für zwei verbundene Variablen zur Überprüfung der Hypothese, dass beide Variablen dieselbe Verteilung haben.

**Z:** Eine Teststatistik mit einer annähernden Normalverteilung.

**Asymptotische Signifikanz:** Die Wahrscheinlichkeit, basierend auf der asymptotischen Verteilung einer Teststatistik unter der Annahme einer großen Datenmenge, Extremwerte wie den beobachteten zu erhalten.

### 3.3 Ergebnisse der Gruppe -30

Zur grafischen Darstellung der Ergebnisse sind jeweils die durchschnittlichen SNR-Werte gegenübergestellt, die bei 50%igem Sprachverständnis berechnet wurden. Die entsprechenden Standardfehler wurden in die Diagramme integriert.

Als Diskriminationsfunktion wird die Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom SNR-Wert bezeichnet. Um die ermittelte Diskrimination darzustellen, wurden die gesamten Messergebnisse in eine Access-Datenbank eingelesen. Für ausgewählte SNR-Werte kann man in einem weiteren Arbeitsschritt das durchschnittliche Satzverständnis in Prozent berechnen. Eine dritte Umsetzung der Ergebnisse ist innerhalb eines Boxplots ausgearbeitet worden. Hierbei sind die Werte der einzelnen Messungen graphisch umgesetzt. Ein Punkt repräsentiert eine Patientenantwort in % verstandene Wörter. Entsprechend der vorgegebenen Auswahlmöglichkeiten 0%, 33%, 66% und 100% richtig verstanden, sind die Punkte auf die entsprechenden Werte auf der y-Achse beschränkt. Zu bedenken ist, dass eine Vielzahl von Überlagerungen aus den Punkten alleine nicht ersichtlich ist. Es gibt zwar die Möglichkeit, auch diese Information in die Darstellung mit einzubeziehen, aus Gründen der Übersichtlichkeit wird darauf jedoch verzichtet. Die Punkte sollen vielmehr das Antwortspektrum bei jeweiligem SNR zeigen. Die Häufigkeitsverteilung der Antworten ist dagegen in der Regressionsgeraden enthalten, die ebenfalls im Boxplot dargestellt ist. Diese ist durch das 95%ige Konfidenzintervall ergänzt, d.h. die Grenzen, innerhalb derer die Regressionsgerade bei Reproduktion des Versuches mit einem entsprechenden Probandenkollektiv mit 95%iger Wahrscheinlichkeit läge. Die Steigung der Regressionsgeraden entspricht dem theoretischen Verständniszuwachs für das untersuchte Kollektiv bei sinkendem Abstand zwischen Sprache und Störlärm.

#### 3.3.1 Vergleich der Messungen bei 60dB und 80dB Störlärm

In Abbildung 6 werden die durchschnittlichen SNR-Werte für 50%iges Satzverständnis bei 60 und 80dB verglichen. Tabelle 7 fasst die entsprechenden Mittelwerte, Standardabweichungen und Standardfehler zusammen. Die Differenz liegt bei 1,2dB zugunsten des Versuchs mit 80dB Störlärm.

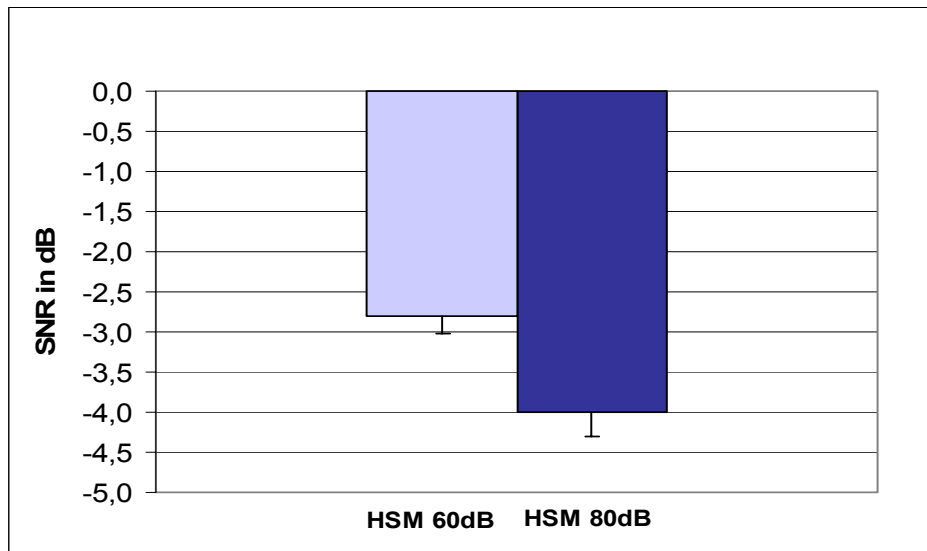


Abbildung 6: Vergleich SNR bei 50%igem Sprachverständnis: HSM-Standard mit 60 und 80dB

NOISE	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
60	30	-2,8169	1,24277	0,2269
80	30	-4,0267	1,71088	0,31236

Tabelle 7: HSM-Standard mit 60 und 80dB

Der T-Test für die Mittelwertgleichheit zeigt einen signifikanten Unterschied der beiden SNR-Werte beim HSM-Test mit 60 und 80dB. Der Levene Test überprüft die Homogenität der Varianzen. Dabei werden die Ergebnisse sowohl für die Annahme gleicher Varianzen als auch für die Annahme ungleicher Varianzen angezeigt (Tabelle 8).

	Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
	F	Signifikanz	T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
								Untere	Obere
Varianzen gleich	0,441	0,509	3,13	58	<b>0,003</b>	1,2098	0,38607	0,43704	1,9827
Varianzen nicht gleich			3,13	52,9	<b>0,003</b>	1,2098	0,38607	0,43546	1,9842

Tabelle 8: Statistische Auswertung der Ergebnisse mit HSM-Standard mit 60 und 80dB.

Die Diskriminationskurven unterscheiden sich besonders für niedrige SNR-Werte. Beide Kurven verlaufen zwar tendenziell so wie es interpolierte Modelle der Diskriminationsfunktion erwarten ließen, die zum Teil jedoch deutlichen Abweichungen resultieren aus der begrenzten Anzahl von Messwerten (Abbildung 7).

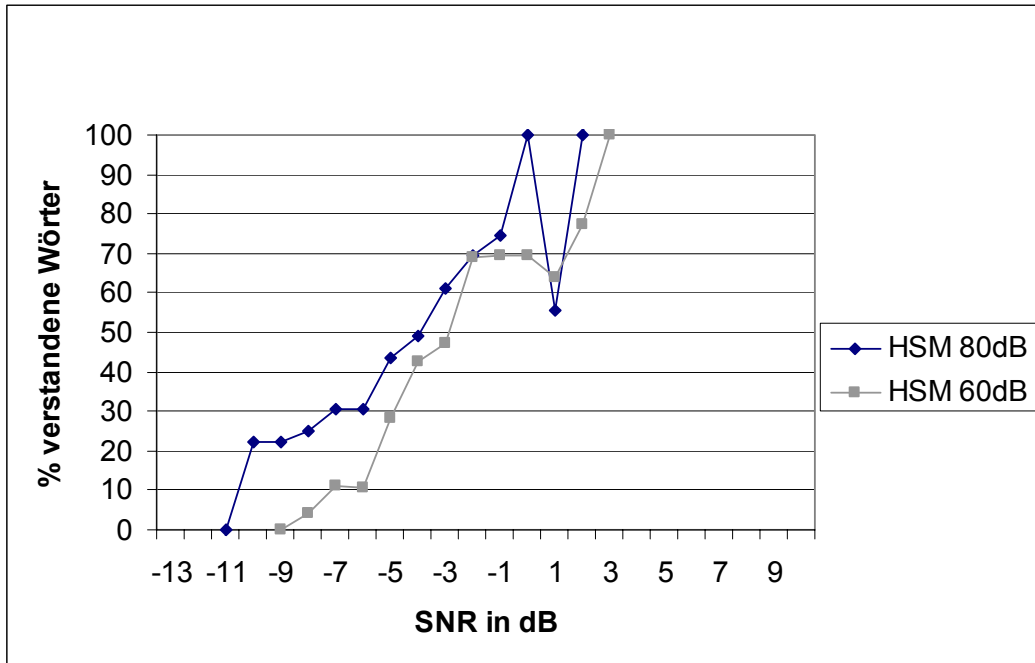


Abbildung 7: Diskrimination bei 60 und 80dB

Die Regressionsgeraden zeigen ebenfalls ein besseres Verständnis beim HSM-Test mit 80dB im Bereich der stark negativen SNR-Werte. Ab SNR-Werten um -6 bis -5 dB nähern sich die Geraden deutlich an. Je weiter der SNR gegen 0 geht, desto geringer ist der Unterschied zwischen den beiden Testmodi (Abbildungen 8a-c).

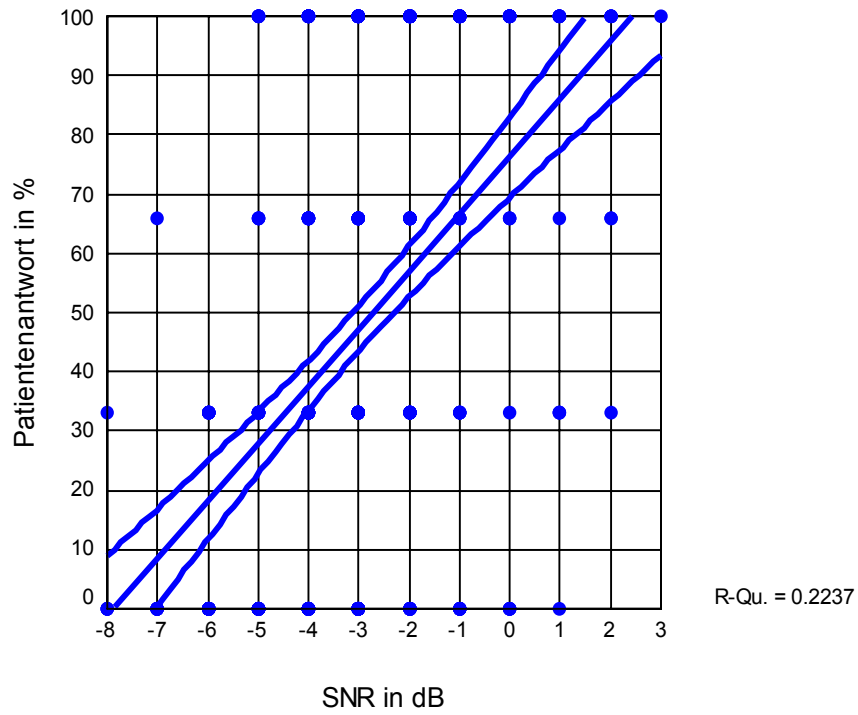


Abbildung 8a: Regressionsgerade bei 60dB

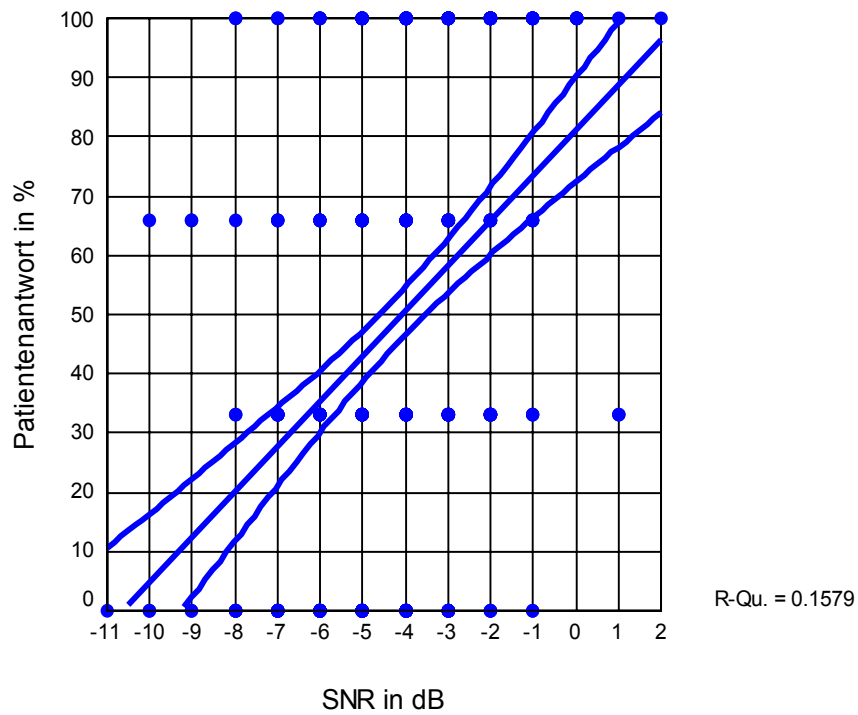


Abbildung 8b: Regressionsgerade bei 80dB

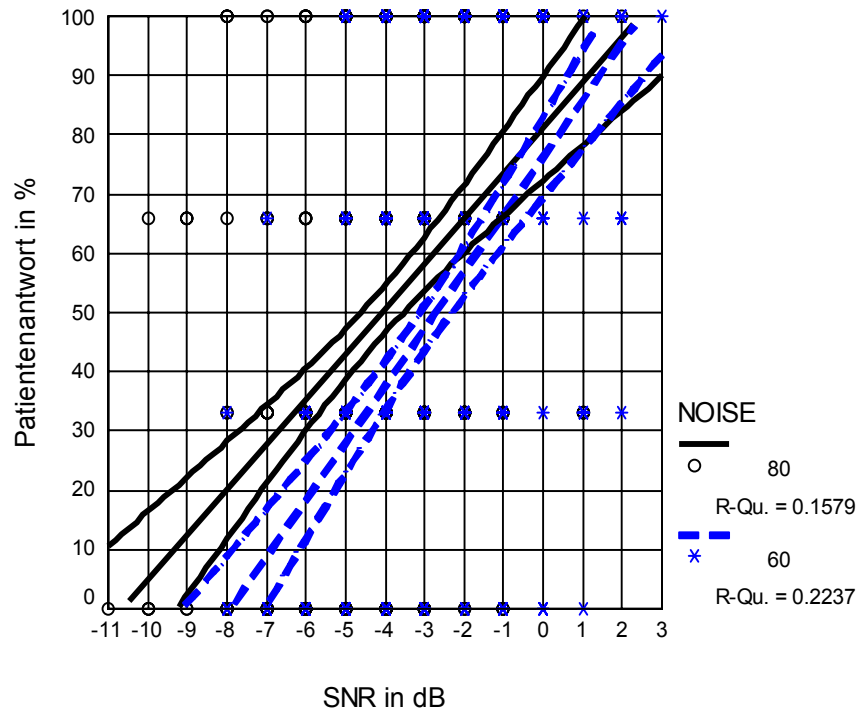


Abbildung 8c: Regressionsgeraden für 60 und 80dB

### 3.3.2 Vergleich Gesamtkollektiv mit -30 bei 60dB Störlärm

Um die Unterschiede zwischen den durchschnittlich erreichten Ergebnissen aller Testteilnehmer und den 30 schlechter Hörenden darzustellen, werden sowohl die entsprechenden SNR-Werte bei 50%igem Satzverständnis als auch die Diskriminationskurven gegenübergestellt. Dabei ist zu beachten, dass die 30 schlechter Hörenden Teil des Gesamtkollektivs sind. Eine Signifikanzprüfung der Daten ist somit nicht möglich. Da wir bei unseren Messungen davon ausgehen, dass die ermittelten Werte einen Vergleichswert für die Gruppe -Normalhörende um 50 Jahre- ergeben, ist ein Vergleich der 30 schlechter Hörenden mit diesem durchaus sinnvoll. So kann beispielsweise danach gesucht werden, für welche SNR-Werte das Sprachverständnis besonders reduziert ist. In 3.3.4 wird ein Zusammenhang zwischen Zugehörigkeit zur Gruppe der schlechter Hörenden und dem Alter überprüft.

Abbildung 9 zeigt eine Differenz von 1,4dB zwischen den SNR-Werten für 50%iges Satzverständnis bei 60dB Störlärm.

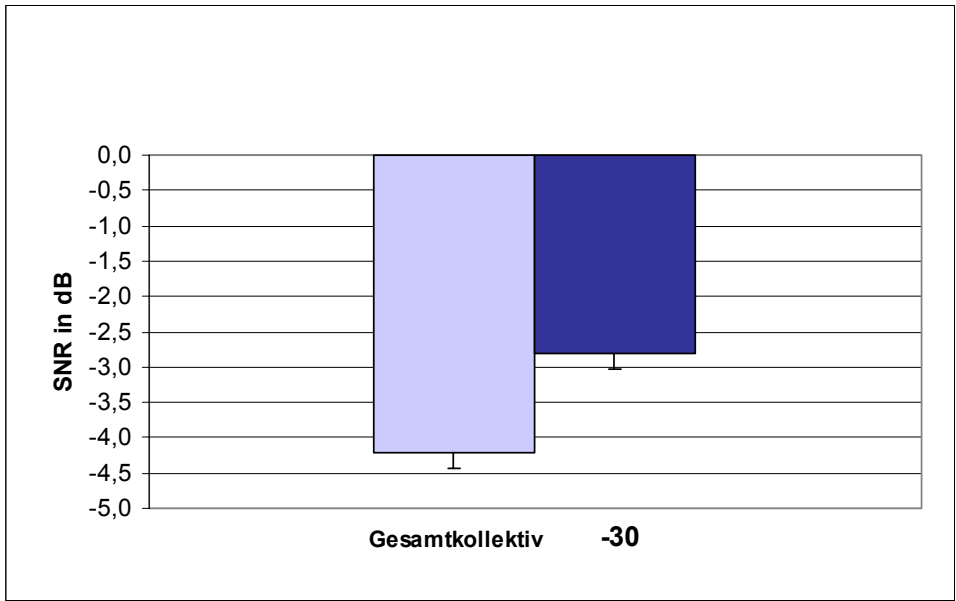


Abbildung 9: Vergleich Gesamtkollektiv und -30 bei 60dB Störlärm

Die Unterschiede in der Diskriminationskurve (Abbildung 10) sind besonders im Bereich zwischen -11 und -5dB erkennbar. Ab -3dB verlaufen die Kurven nahezu identisch.

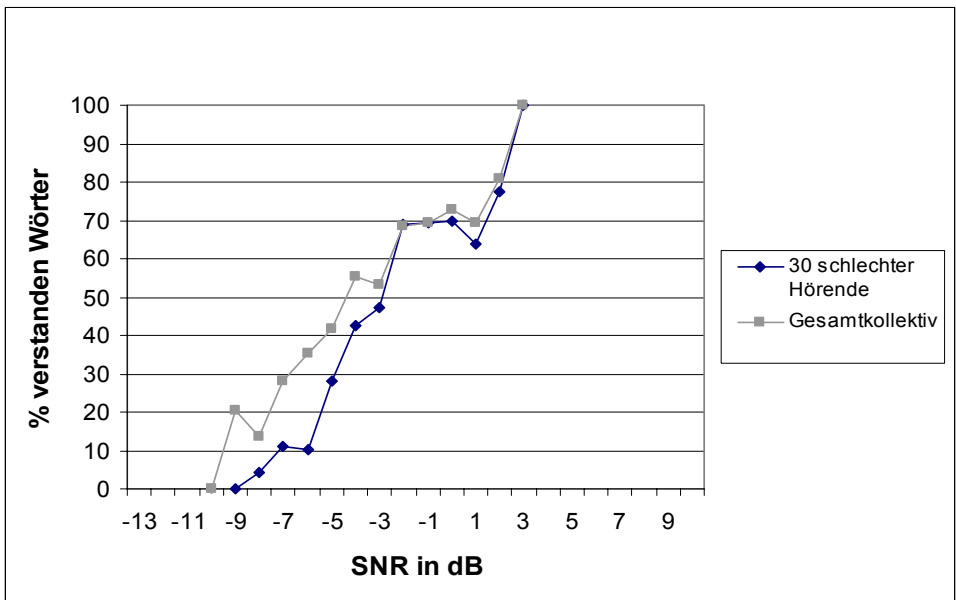


Abbildung 10: Diskrimination Gesamtkollektiv und -30 bei 60dB Störlärm



### 3.3.3 Vergleich Gesamtkollektiv mit -30 bei 80dB Störlärm

Abbildung 11 zeigt eine Differenz von 0,9dB zwischen den SNR-Werten für 50%iges Satzverständnis. Die Differenz ist somit um 0,5dB geringer als bei 80dB Störlärm.

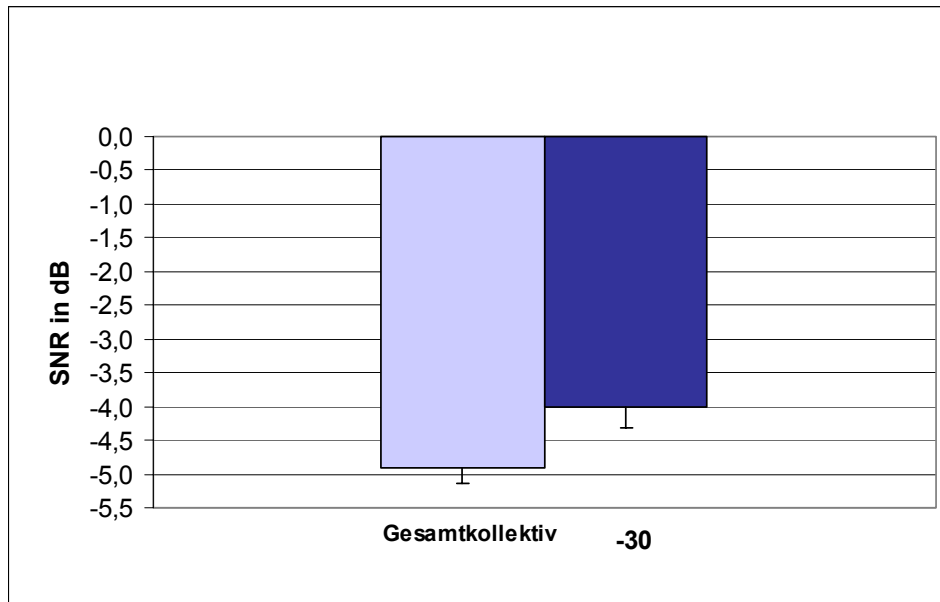


Abbildung 11: Vergleich Gesamtkollektiv und -30 bei 80dB Störlärm

Unterschiede der Diskriminationskurven (Abbildung 12) sind im unteren Grenzbereich um -13 erkennbar. Ab -11dB verlaufen die Kurven weitestgehend identisch.

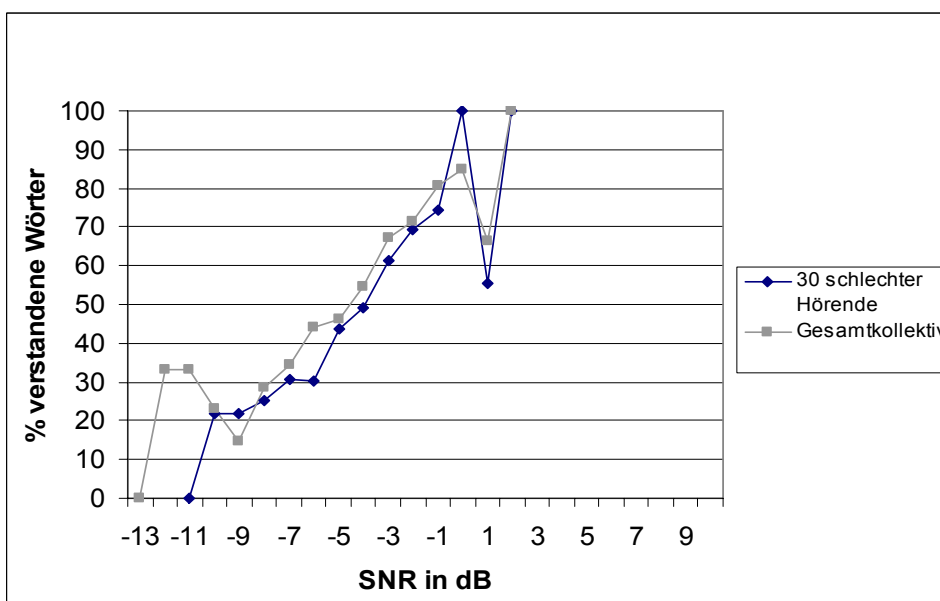


Abbildung 12: Diskrimination Gesamtkollektiv und -30 bei 80dB Störlärm

### 3.4 Zusammenhang zwischen Alter und SNR-Wert

In Abbildung 13 sind die SNR-Werte für 50%iges Satzverständnis in Bezug zum Alter, für alle Testteilnehmer dargestellt. Innerhalb unseres Gesamtkollektivs ist kein Hinweis auf einen Zusammenhang erkennbar.

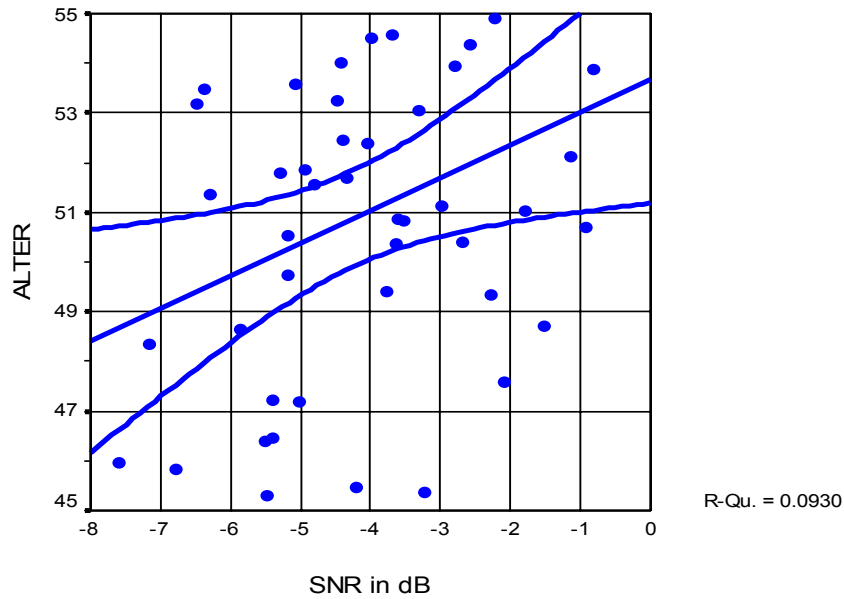


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen Alter und SNR-Wert

Die Aufspaltung in besser und schlechter Hörende zeigt ebenfalls keinen statistisch relevanten Zusammenhang zwischen Alter und SNR-Wert (Abbildung 14).

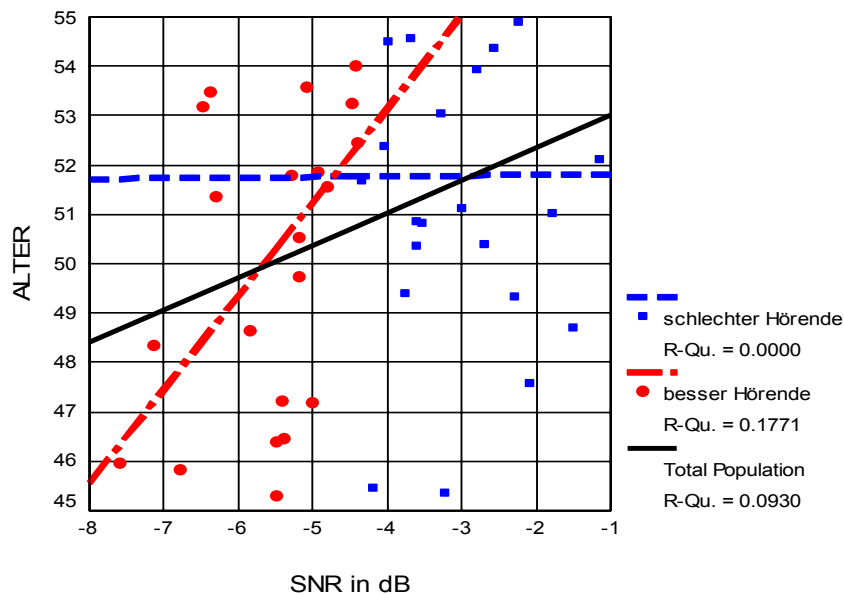


Abbildung 14: Alter zu SNR-Wert, aufgeteilt nach Gruppen

## 4. Diskussion

### 4.1 Aufteilung in zwei Gruppen und Vergleichsgrundlagen

Zur Aufteilung des Gesamtkollektivs wurden die SNR-Werte für 50%iges Sprachverständnis aus den Messungen mit dem HSM-Standardtest mit 60dB Störschallpegel herangezogen. Aus den ermittelten Werten wurde der Median berechnet. Dieser liegt bei 55,65dB. Die 30 Probanden mit Werten über 55,65dB wurden der Gruppe der schlechter Hörenden (-30) zugeordnet. Dies schließt jedoch nicht aus, dass der gleiche Proband, beispielsweise beim HSM-Standardtest mit 80dB Störlärm ein überdurchschnittliches Ergebnis erreicht hat. Die Beschränkung auf eine Testvariante zur Zuordnung erscheint uns dennoch sinnvoll. So wäre beispielsweise der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Störlärmpegeln weniger aussagekräftig, wenn wir die Gruppenzusammensetzung jeweils am erreichten Ergebnis ausrichten würden, da die miteinander zu vergleichenden Werte nicht von einer identischen Gruppe stammen würden. Zudem repräsentiert der HSM-Standardtest mit 60dB Signalniveau und einem Meter Entfernung der Schallquelle eine alltagsnahe Kommunikationssituation [45]. Die Gruppe -30 stellt somit die Hälfte unseres Gesamtkollektivs dar, die unter alltäglichen Bedingungen die größten Schwierigkeiten hat, ihrem Gegenüber zu folgen. Durch die Untersuchung dieser Gruppe mit weiteren Testmodifikationen, wie etwa höherem Pegelniveau und der Modifikation nach Bocca und Calero, soll nach eventuell vorhandenen Besonderheiten dieser Gruppe gesucht werden. Durch den Vergleich mit den 30 besser Hörenden (+30) können die Ergebnisse dahingehend begutachtet werden, ob sie in ähnlicher Form bei diesen ebenfalls auftreten oder ob sie typisch für die Gruppe -30 sind.

Die Aufteilung basiert auf der Berechnung der Sprachverständlichkeitsschwelle (speech reception threshold, SRT, speech recognition threshold level). Diese stellt den minimalen Pegel des Sprachschalls dar, den der jeweilige Proband benötigt um 50% der Testitems richtig verstehen zu können [2]. Der Wert für die 50%ige Sprachverständlichkeit bietet sich insbesondere daher an, da der Graph aus der Sprachverständlichkeit in % und dem dazugehörigen SNR in diesem Punkt in der Regel die größte Steigung aufweist. Die Vergleichbarkeit der Einzelergebnisse ist demzufolge an diesem Punkt des individuell ermittelten Graphen am besten gegeben. Einige Autoren haben die 50% Grenze dahingehend interpretiert, dass ab diesem Wert ein

Verständnis des gesamten Satzes möglich sei [20]. Diese Ansicht wird zunehmend bezweifelt. Für eine effektive Kommunikation werden von anderen Autoren Werte um 80% angegeben [11]. Für unsere Untersuchung steht vor allem der mathematische Vorteil der SRT im Vordergrund. Ursprünglich wurde die Bezeichnung SRT ausschließlich für das 50%ige Verstehen bei Tests mit gleichmäßig betonten Zweisilbern (eng. spondees) benutzt [3]. In neueren Arbeiten wird die Bezeichnung SRT jedoch weiter gefasst [28, 40, 46]. Sowohl das zu beurteilende Testmaterial (Einsilber, Phoneme, Sätze) als auch der Bewertungsmodus (richtige Silben, Phoneme, Wörter, Sätze) variieren hierbei [3]. In dieser Arbeit wurde der Anteil richtig verstandener Wörter pro Satz gewertet.

## **4.2 Vergleich der Messungen bei 60dB und 80dB Störlärm**

Der Vergleich der SNR-Werte, die für ein 50%iges Sprachverständnis bei 60 und 80dB Störlärm notwendig sind, zeigt einen signifikanten Unterschied für die 30 schlechter Hörenden Probanden. Die SNR-Werte unterscheiden sich um 1,2dB zugunsten des Versuchs mit 80dB Störlärm. Mittels der Diskriminationskurven für 60 und 80dB (Abbildung 7) können Erkenntnisse darüber gewonnen werden, bei welchen SNR-Werten der Unterschied besonders ausgeprägt ist. Die Diskrimination unterscheidet sich vor allem im Bereich niedriger SNR-Werte. So steht beispielsweise bei einem SNR von -7dB ein 11%iges Satzverständnis, bei 60dB Störlärm einem 31%igem bei 80dB Störlärm gegenüber. Dieser Unterschied wird mit steigendem SNR geringer. Demzufolge ist ein Verständniszuwachs bei 80dB besonders im Bereich um die Wahrnehmungsgrenze vorhanden.

## **4.3 Vergleich der Gruppe -30 mit dem Gesamtkollektiv**

Bei den Vergleichen zwischen den 30 schlechter Hörenden und dem Gesamtkollektiv ist zu beachten, dass die 30 schlechter Hörenden Teil des Gesamtkollektivs sind. Eine Signifikanzprüfung der Daten ist demzufolge nicht möglich. Da wir bei unseren Messungen davon ausgehen, dass die ermittelten Gesamtergebnisse eine Vergleichsgrundlage für die Gruppe -Normalhörende um 50 Jahre- liefern, erscheint uns ein Vergleich der 30 schlechter Hörenden mit diesen dennoch als durchaus sinnvoll. So kann beispielsweise danach gesucht werden, für welche SNR-Werte das Sprachverständnis besonders reduziert ist.

Abbildung 9 zeigt eine Differenz von 1,4dB zwischen der jeweiligen SRT bei 60dB Störlärm. Für 80dB Störlärm ist die ermittelte Differenz um 0,5dB geringer (Abbildung 11). Bei der Betrachtung der Diskriminationskurven fällt auf, dass die schlechter Hörenden bei 60dB Störlärm vor allem bei SNR-Werten um -11dB bis -6dB deutlich hinter dem Gesamtkollektiv zurückbleiben. Ab Werten um -3dB verlaufen beide Kurven nahezu identisch (Abbildung 10). Bei 80dB Störlärm ist dieser Trend deutlich weniger ausgeprägt (Abbildung 12). Bei der Beantwortung der Frage worin ein möglicher Grund für die Einstufung als schlechter Hörend liegt, könnte man diskret verlaufende, pathologische Vorgänge vermuten. Bosman beschreibt für bestimmte Erkrankungstypen des Ohres idealisierten Sprachaudiogramme [3] (Abbildung 15). Er geht davon aus, dass der ermittelte Graph eines Schalleitungs-Schwerhörigen beispielsweise, insgesamt nach rechts verschoben ist. Vergleicht man nun die Diskriminationskurven der Gruppe -30 mit Bosmans Audiogrammen, stellt man im Bereich niedriger SNR-Werte ebenfalls eine Rechtsverschiebung im Vergleich zum Gesamtkollektiv fest. Je weiter die SNR-Werte jedoch ins Positive gehen, desto weniger besteht ein Unterschied zum Gesamtkollektiv. Eine reine Schalleitungsschwerhörigkeit scheint somit nicht die Ursache zur Einstufung als schlechter Hörend zu sein. Die anderen von Bosman angegebenen Sprachaudiogramme (sensorineural Schwerhörige und retrocochleär Schwerhörige) zeigen noch weniger Gemeinsamkeiten mit der Gruppe -30.

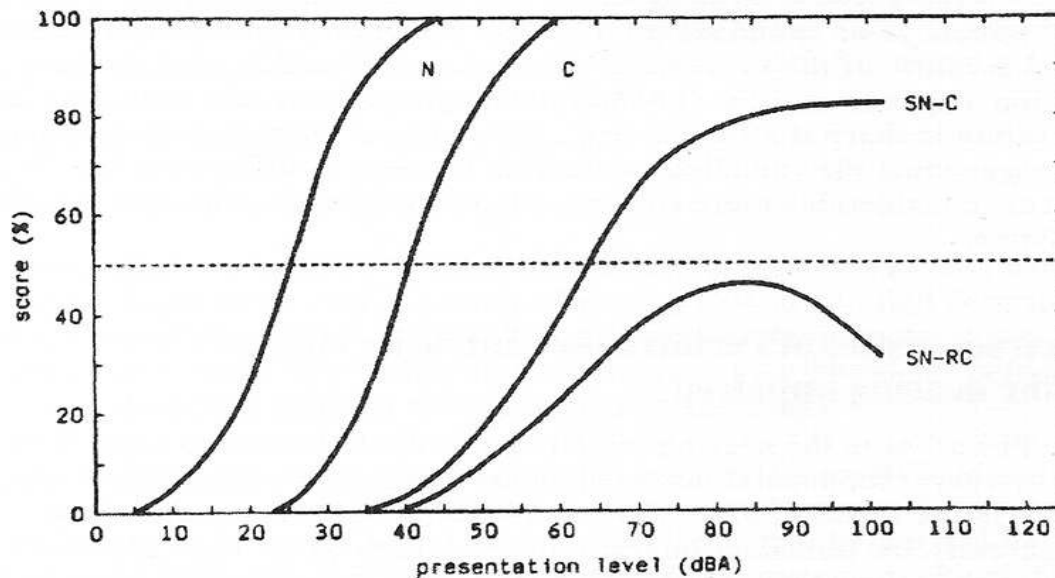


Abbildung 15: Idealisierte Sprachaudiogramme für Normalhörende und unterschiedliche Schwerhörigkeitsformen. N: Normalhörende; C: Schalleitungs-Schwerhörige; SN-C: Sensorineurale Hörstörung; SN-RC: Retrocochläre Hörstörung [3]

#### 4.4 Zusammenhang zwischen Alter und Hörleistung

Für unser Probandenkollektiv im Alter zwischen 40 und 58 Jahren, ergibt sich keine Abhängigkeit zwischen der Fähigkeit zum Hören im Lärm und dem Alter des Probanden. Abbildung 13 und 14 zeigen dies weder für das Gesamtkollektiv, noch für die Gruppen -30 und +30.

#### 4.5 Vergleich unserer Ergebnisse mit anderen Arbeiten

Der Vergleich unserer Ergebnisse mit der bekannten Literatur erweist sich als problematisch, da die methodischen Unterschiede zwischen den einzelnen Arbeiten groß sind.

So untersuchte Schuh [30] beispielsweise ein Probandenkollektiv, das dem unseren sehr ähnlich war. Dabei verwendete er auch den HSM-Satztest, allerdings nicht in der

Version mit adaptiver Pegelsteuerung. Ein maßgeblicher Unterschied zu unseren Versuchsaufbau besteht in der Verwendung von drei statt zwei Lautsprechern.

Um die Bedeutung dieses Unterschieds aufzuzeigen, muss man die menschliche Signalverarbeitung genauer betrachten. Die so genannte auditive Segregation ist ein wesentlicher Hilfsmechanismus zum Verstehen im Störlärm. Mittels binauraler Feststellung unterschiedlicher Auftretensorte, binauraler Entmaskierung, der Feststellung unterschiedlicher Zeitstrukturen von Stör- und Nutzsignal und der Feststellung unterschiedlicher spektraler Energieverteilungen wird die Unterscheidung zwischen Nutz- und Störsignal erleichtert [12]. Die Fähigkeit eine Schallquelle zu lokalisieren, ist effektiv nur mittels beidohrigem Hören möglich. Ein Umstand, dem durch die heute als Standard angesehene Empfehlung zur beidohrigen Hörgeräteversorgung, Rechnung getragen wird [22]. Die maskierende Wirkung von Störgeräuschen wird durch die Unterschiede in den beiden Hörsignalen reduziert. So werden, im Gegensatz zu den einohrigen oder diotischen Darbietungen, die dichotisch dargebotenen Testsignale trotz gleicher Rauschpegel noch bei niedrigeren Lautstärken gehört. Mit dem aus dem englischsprachigen Raum stammenden Begriff „binaural intelligibility level difference“, kurz BILD, wird diese Phänomen bei Test mit Sprache als Signal bezeichnet. Zum Tragen kommt die BILD allerdings nur, wenn Signal- und Rauschquelle räumlich unterschiedlich lokalisiert werden [22]. Hellbrück [13] beschreibt diesen Zusammenhang auch für den erstmals 1953 von Cherry beschriebenen Cocktailparty-Effekt [4], der Fähigkeit aus einem Stimmengewirr einen einzelnen Sprecher heraushören zu können.

Die Fähigkeit Nutz- und Störsignal räumlich voneinander zu trennen, bedarf somit zweier Grundvoraussetzungen: Zwei funktionierende Ohren und unterschiedlich angeordnete Schallquellen. In unserem Testaufbau werden beide Signale jedoch gemeinsam aus zwei Lautsprechern dargeboten. Eine auditive Segregation ist in diesem Fall zumindest eingeschränkt, da eine Trennung nach Richtung der Schallquellen nicht möglich ist. Daraus folgt, dass für unsere Versuchsanordnung die Leistungen der Probanden entsprechend schlechter sein sollten als bei Versuchen mit separaten Schallquellen. Laut Platte et al. ist die Sprachverständlichkeit dann am schlechtesten, wenn beide Schallsignale bei konstanten Schallpegeln von Sprache und Störschall am Abhörort aus der gleichen Richtung einfallen [25]. Mit einer räumlichen Trennung von Sprach- und Störschallquelle ergäbe sich bei Normalhörenden häufig eine Verbesserung, aber nur selten eine Verschlechterung der Sprachverständlichkeit. Auch

für den Fall, dass wie von Lehnhart gefordert [21], drei Lautsprecher zur Verfügung stehen, wirkt sich alleine die Anordnung der Schallquellen auf die ermittelten Ergebnisse aus. So beschreiben Plomp und Duquesnoy beispielsweise einen Verständlichkeitsgewinn, wenn das Störgeräusch aus Lautsprechern dargeboten wird, die im 90° Winkel zum Lautsprecher des Nutzsignals stehen [26]. Darüber hinaus wurde bereits in der Einleitung auf die Vielzahl von Variablen bei Sprachtests hingewiesen, die eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse erschweren. Im folgenden Abschnitt sind dennoch Ergebnisse ähnlicher Arbeiten angegeben, Unterschiede im Versuchsaufbau werden dabei angeführt.

Die Beobachtung eines Verständniszuwachses mit steigendem Pegelniveau zeigte sich bereits in anderen Untersuchungen. Schuh beschreibt beispielsweise einen nicht signifikanten Verständniszuwachs für 80dB gegenüber 60dB Pegelniveau [30]. Da seine Arbeit allerdings vor allem der Untersuchung der Ausgewogenheit des HSM-Testmaterials dienen sollte, verzichtete er auf die Angabe eines Wertes für 50%iges Satzverständnis. Bei 60dB Störgeräusch gibt er eine Wortverständlichkeit von 62% bei -7dB an. Vergleichbare Ergebnisse ermittelte Delle für 20- bis 30-jährige Probanden mit dem HSM-Satztest [5]. Sie gibt allerdings ebenfalls keine SRT-Werte an, der Versuch wurde mit drei Lautsprechern und separatem Nutzsinal durchgeführt.

Welzl-Müller ermittelte 1981 einen um 0,9dB niedrigeren SNR-Wert bei einer Erhöhung des Störsignalpegels von 60 auf 75 dB [45]. Sie zeigte somit einen Verständniszuwachs bei höherem Signalniveau. Als Sprachmaterial verwendete sie den Marburger Satztest mit dem sprachsimulierenden Rauschen des Freiburger Sprachtests. Nutz- und Störsignal wurden dabei von einem 1 Meter entfernten Lautsprecher wiedergegeben.

Schulze-Thüsing ermittelte bei seinen Messungen mit dem Marburger Satztest auf CD bei Normalhörenden bei 60dB Störsignalpegel für 50%iges Satzverständnis einen SNR von -5,7dB, bei 80dB von -4,8dB [33]. Dem von uns ermittelten Zuwachs bei höherem Signalpegel steht somit bei Schulze-Thüsing ein Verlust gegenüber.

Von großem Interesse ist für uns auch der Zusammenhang zwischen der Fähigkeit zum Hören im Lärm und dem Alter der Probanden. Innerhalb unseres Gesamtkollektivs konnte keine Abhängigkeit ermittelt werden. Der Vergleich mit deutlich jüngeren oder älteren Probanden könnte dagegen relevante Unterschiede zeigen.



Strohmaier hat 1998 eine Gruppe von 36 Normalhörenden im Alter zwischen 20 und 30 Jahren mit dem HSM-Satztest auf CD getestet [39]. Er gibt bei 60dB Störlärm die Satzverständnisschwelle mit -10dB, bei 80dB mit -14dB an. Somit ergibt sich im Vergleich zu unseren Gesamtergebnissen eine Differenz von 5,8 bzw. 5,2 dB. Vergleicht man Strohmaiers Angaben mit der Gruppe -30 erhöht sich diese Differenz sogar auf 7,2 bzw. 6dB. Die 20- bis 30-jährigen Probanden erzielten somit deutlich bessere SNR-Werte als die Probanden um 50 Jahre. Bedauerlicherweise unterscheidet sich der Versuchsaufbau bei Strohmaier jedoch entscheidend von unserem. Er benutzte nämlich drei Lautsprecher: zwei seitliche für das Störsignal und einen frontalen für das Nutzsignal. Welchen Anteil die gewählte Testanordnung zum besseren Ergebnis beiträgt, ist kaum abschätzbar. Näherungsweise könnte man den von uns ermittelten SNR-Wert mit dem von Schuh [30] für 62%iges Verständnis angegebenen Wert in Relation setzen, da dieser den HSM-Test, wie bereits erwähnt, mit vergleichbarem Probandenkollektiv, allerdings mit drei Lautsprechern durchgeführt hat. Auf diesem Weg ergibt sich näherungsweise ein Unterschied von 4,5dB zu Gunsten des Versuchsaufbaus mit drei statt zwei Lautsprechern. Verrechnet man die 4,5dB mit unserem Gesamtergebnis für den HSM-Standardtest mit 60dB ergibt sich ein SNR von -8,7dB. Nach rechnerischem Ausgleich des erschwerten Testaufbaus, bliebe somit ein Unterschied von 1,3dB zwischen dem Gesamtkollektiv und den 20- bis 30-jährigen Probanden von Strohmaier. Für die Gruppe -30 ergibt sich eine Differenz von 2,7dB. Die Fähigkeit zum Hören im Lärm scheint also bei Normalhörenden mit steigendem Alter abzunehmen. Worin die Ursachen für diese Entwicklung liegen, ist allerdings weiter unklar. Nahe liegend erscheinen Degenerationsprozesse im Bereich des peripheren Hörapparates. In Frage kommen hierbei insbesondere die Haarzellen der Cochlea. Zenner macht den Verlust der äußeren Haarzellen (OHC) als entscheidende pathologische Veränderungen bei der Altersschwerhörigkeit aus [49]. Diese sind für das Frequenzunterscheidungsvermögen des Ohres von großer Bedeutung. Die Schwingungen eines Tones lösen Auf- und Abwärtsbewegung der cochleären Trennwand aus. Die Bewegungen beginnen unmittelbar hinter dem Steigbügel, bleiben jedoch nicht auf diesen Ort beschränkt. Vielmehr bildet sich eine so genannte Wanderwelle aus. Beim Gesunden verfügen die OHC über die Fähigkeit, sich außerordentlich schnell zu verkürzen oder zu verlängern. Dadurch erzeugen sie mechanische Energie, die zu einer fast 1000fachen Verstärkung der Wanderwelle führt. Diese Verstärkung betrifft einen sehr eng umschriebenen Bereich der cochleären

Trennwand, welcher für die jeweilige Tonhöhe charakteristisch ist (Ortsprinzip, Ortstheorie, Tonotopie). So kann ein erstaunlich hohes Frequenzunterscheidungsvermögen erzielt werden. Das gesunde Ohr ist in der Lage, bei 1000 Hz zwei Töne ab einem Frequenzunterschied von 0,3% zu diskriminieren [48]. Die Fähigkeit, Frequenzen zu unterscheiden spielt, wie bereits erwähnt, eine erhebliche Rolle bei der auditiven Segregation. Eine verminderte Leistungsfähigkeit der OHC könnte auch auf diesem Wege die Fähigkeit zum Hören im Lärm negativ beeinflussen.

Altersabhängige Degenerationsprozesse im Bereich des peripheren Hörapparates scheinen allerdings nicht die alleinigen Verursacher des Leistungsabfalls zu sein. Versfeld vermutet über die Presbyakusis hinaus einen altersabhängigen Rückgang des zeitlichen Auflösungsvermögens für akustische Signale [40]. Er untersuchte daher die SRT in Abhängigkeit von der zeitlichen Kompression des Sprachsignals. Die Ergebnisse zeigten laut Versfeld, dass auch nach der Kompensation der Presbyakusis ältere Hörer schlechter abschneiden als jüngere. Somit wäre auch eine zentral bedingt Ursache zu berücksichtigen.

#### **4.6 Vergleich mit den Arbeiten von Lach und Mulfinger**

Einer relativ großen Anzahl von Untersuchungen zum Thema Sprachverstehen in lärmgefüllter Umgebung steht eine geringe Vergleichbarkeit der gewonnenen Ergebnisse gegenüber. Als Idealvorstellung ergibt sich aus unserer Sicht eine Untersuchung mit exakt gleichem Aufbau und nur einer unterschiedlichen Variablen. Die Auswertungen von Lach und Mulfinger erfüllen diese Vorstellung.

Wir haben das Gesamtkollektiv entsprechend der Leistung beim HSM-Standardtest mit 60dB Störlärm in besser und schlechter Hörende Probanden aufgeteilt sowie die statistische Unabhängigkeit der beiden Gruppen aufgezeigt. Lach hat die Gruppe +30 mit exakt gleichem Versuchsaufbau untersucht. Die Variable ist hierbei also das Probandenkollektiv, welches im Gegensatz zu unserem überdurchschnittlich gut im Lärm hört. Mulfinger untersuchte die Gruppe -30 mit einem modifizierten HSM-Test, der sich ausschließlich durch die Zerhackung des Nutzsignals von unserem unterscheidet. Die gewünschte Variable ist hier die Testmodifikation nach Bocca und Calero. Die Gegenüberstellung unserer Ergebnisse zeigt Abbildung 5.

Die Auswertungen von Lach ergeben für die Gruppe +30, für 50%iges Satzverständnis sowohl für 60 als auch für 80dB Störlärm einen SRT-Wert von -5,7dB. Im Vergleich zur Gruppe -30 ist der SRT-Wert bei 60dB um 2,9dB niedriger, bei 80dB um 1,7dB. Besonders Interessant ist dabei, dass die SRT-Werte für 60 und 80dB Störlärm innerhalb der Gruppe +30 exakt gleich sind. Im Gegensatz dazu erweist sich der Unterschied innerhalb der Gruppe -30 mit 1,2dB als signifikant. Dies führt uns zu dem Ergebnis, dass es für den von uns gewählten Testaufbau den schlechter Hörenden einen messbaren Vorteil bringt, das Gesamtpegelniveau anzuheben, wogegen es für die besser Hörenden keinen Unterschied macht. Bei der Suche nach einer möglichen Begründung können wir auf die Ergebnisse von Mulfinger zurückgreifen. Durch die Zerhackung des Nutzsymbols wird besonders die zentrale Hörverarbeitung geprüft. Mulfinger gibt den SNR-Wert mit +2,3dB bei 60dB, und +2,1dB bei 80dB an. Die Differenz von 0,2dB ist dabei nicht signifikant. Eine Verbesserung des Sprachverständnisses durch die Erhöhung des Pegelniveaus besteht bei dem modifizierten Testaufbau folglich für die gleichen Probanden nicht mehr. Wir kommen daher zu der Vermutung, dass die Ursache für den beobachteten Verständnisszuwachs weniger im Bereich der zentralen Sprachverarbeitung, als im peripheren Bereich des Hörapparates zu liegen scheint.

Insgesamt liegen die SNR-Werte bei Mulfinger deutlich über denen mit dem HSM-Standardtest. Bei 60dB Störsignalpegel ist für ein 50%iges Verständnis ein um 5,1dB höherer Nutzsymbolspegel notwendig, bei 80dB sind es 6,1dB. Für Ausführungen zu möglichen Ursachen für diese Beobachtung, wird auf die Arbeiten mit dem HSM-Test mit Modifikation nach Bocca und Calearo verwiesen, die parallel zu dieser von Mulfinger und Richter erstellt werden.

#### **4.7 Einordnung der Ergebnisse und Ausblick**

Der HSM-Test hat sich in der vorliegenden Version als effektiver Sprachtest zur Erhebung einer individuellen Sprachverständnisschwelle erwiesen. Die Fähigkeit zum Hören im Lärm kann mit dem HSM-Test realitätsnah geprüft werden. Die computergestützte Durchführung, insbesondere die adaptive Pegelsteuerung, ermöglicht es in relativ kurzer Zeit verschiedene Kommunikationssituationen zu simulieren und eine ausreichende Anzahl von Sätzen zu testen. Auch die Auswertung der Probandenantwort mittels der vorgegebenen %-Werte für verstandene Wörter

(0, 33, 66, 100) begünstigt einen rationellen Testablauf. Zu bedenken ist dabei allerdings, dass die Einstufung weniger genau ist, als dies durch die Angabe der einzelnen Wörter oder gar Silben wäre. Die vorliegende Form stellt somit einen Mittelweg zwischen akzeptabler Testdauer und Genauigkeit der ermittelten Ergebnisse dar. Möglicherweise könnte die Erweiterung des Antwortspektrums auf fünf Werte (0, 25, 50, 75, 100) eine Verbesserung darstellen.

Konzeptionell wurde auf den Einsatz eines dritten Lautsprechers zur separaten Wiedergabe des Nutzschalls verzichtet. Der Versuchsaufbau steht damit im Widerspruch zu den Vorschlägen der International Organisation for Standardisation [15] und den Empfehlungen von Lehnhardt, der davon ausgeht, dass die Wirklichkeit nicht hinreichend naturgetreu nachgeahmt wird, solange das Geräusch aus der gleichen Schallquelle entstammt wie das Signal [21]. Dagegen ist festzustellen, dass die Mehrheit aller sprachaudiometrischen Erhebungen in der Praxis nach wie vor mit nur einem Lautsprecher durchgeführt wird. Der Verzicht auf eine dritte Schallquelle stellt somit einen Kompromiss zwischen weitestgehend naturgetreuem Versuchsaufbau und dem Wunsch nach einem möglichst praktikablen Testablauf dar. Bedauerlicherweise gestaltet sich der Vergleich unserer Ergebnisse mit anderen Arbeiten dadurch jedoch recht schwer. Neben der Verwendung von einer, zwei oder drei Schallquellen sind das verwendete Sprachmaterial und das Störgeräusch nur die wichtigsten anzuführenden Variablen. Auf die erheblichen Unterschiede zwischen den Ergebnissen mit unterschiedlicher Anzahl und Anordnung der Schallquellen wurde hingewiesen. Aus diesem Grund stand auch der Vergleich der vorliegenden Arbeit mit den parallel erstellten Arbeiten im Vordergrund.

Von den Versuchspersonen wurde neben Alter und Geschlecht keine weiteren Informationen aufgenommen. Rückblickend erscheint es von Interesse, in wieweit Faktoren wie Bildungsstand, Beruf und sprachliche Fähigkeiten das jeweilige Ergebnis beeinflussen. Schultz-Coulon beschrieb beispielsweise bereits 1973 einen Zusammenhang zwischen Bildungsstand und sprachaudiometrischer Leistungsfähigkeit [31]. Während der Tests war es häufig zu beobachten, dass einige Probanden offensichtlich ein gewisses Talent haben, sich nur bruchstückhaft verstandene Sätze zu erschließen. Vermutlich spielen hierbei neben der Motivation des einzelnen auch Faktoren wie Sprachgefühl und Intelligenz eine Rolle. Hinweise, dass etwa Menschen mit Lese- und Rechtschreibschwäche eine reduzierte auditive Wahrnehmung aufweisen

sind durchaus vorhanden. Barth beschreibt neuere Untersuchungen, die zu belegen scheinen, dass sowohl die phonologische Bewusstheit, als auch die zeitliche Informationsverarbeitung akustischer Reize einem Entwicklungsprozess unterliegen, der als zunehmende Differenzierung beschrieben wird. Die durchschnittlichen Ordnungsschwellen gesunder Erwachsener liegen demnach etwa im Bereich von 30-60ms, die von 6-jährigen Kindern etwa bei 90-150ms. Im Alter von 9-10 Jahren erreichen die Ordnungsschwellen der Kinder die der Erwachsenen. Eine Reihe empirischer Befunde belegten laut Barth, dass insbesondere Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen und eine Subgruppe von lese-rechtschreibschwachen Kindern Beeinträchtigungen in ihrer zeitlichen Verarbeitungsfähigkeit aufweisen. Bei diesen Kindern würde oft eine 3-4 fach höhere Ordnungsschwelle gefunden [1]. Wird die Verarbeitung verbaler Kurzzeitschallereignisse zusätzlich durch Störlärm erschwert, könnte die individuelle Differenzierungsfähigkeit das Ergebnis demnach maßgeblich beeinflussen.

Es liegen uns keine Untersuchungen vor, die eine erneute Verlängerung der Ordnungsschwelle mit zunehmendem Alter überprüfen. Eine mögliche Erklärung für die Beobachtung einer reduzierten Fähigkeit zum Hören im Lärm mit zunehmendem Alter könnte jedoch auch auf dieser Wahrnehmungsebene zu finden sein.

## 5. Zusammenfassung

Als klassische Hörprüfungen werden insbesondere die Stimmgabeltests und die Hörweitenprüfung bezeichnet. Sie dienen auch heute noch der Orientierung und der Überprüfung audiologischer Ergebnisse. Die Tonaudiometrie erlaubt Aussagen über Hörpegel und Hörverlust in Abhängigkeit von einem definierten Frequenzbereich sowie die Lokalisation einer Hörstörung. Das Wissen um die tonaudiometrisch erhobene Hörschwelle eines Patienten alleine reicht jedoch nicht aus, um das Ausmaß seiner Hörstörung im Alltag zu erfassen.

Ein geeignetes Mittel, um die individuelle Hörfähigkeit in alltäglichen Kommunikationssituationen zu beurteilen, ist die Sprachaudiometrie mit Sätzen und einem Störgeräusch. Ein grundlegendes Problem der Sprachaudiometrie bleibt dabei die hohe Zahl von Variablen, die bei einem bestimmten Test berücksichtigt werden müssen. Jedes der gebräuchlichen Sprachtestverfahren besitzt eine eigene Kombination dieser Variablen, so dass sich die Testergebnisse nur schwer miteinander vergleichen lassen.

Im Gegensatz zur erheblichen Bedeutung der Sprachaudiometrie ergibt eine Bestandsaufnahme des allgemein verwendeten Sprachmaterials erhebliche Defizite. So zeigt vor allem der Freiburger Sprachverständlichkeitstest eine Vielzahl von Schwächen. Da jedoch noch keiner der in jüngerer Zeit entwickelten Tests eine DIN-Norm-Anerkennung gefunden hat, bildet er bis heute die Basis vieler sprachaudiometrischer Untersuchungen.

Der HSM-Satztest weist im Gegensatz zum Freiburger Sprachtest neben ausgewogenen Testgruppen eine ausreichende Auswahl an Testsätzen auf. Schon bei der Konzeption wurde mit dem Rauschen nach CCITT ein passendes Störgeräusch berücksichtigt. In der vorliegenden, computergestützten Version mit adaptiver Pegelsteuerung kann in vergleichsweise kurzer Zeit die Sprachverständnisschwelle eines Probanden für unterschiedliche Kommunikationssituationen ermittelt werden. In der vorliegenden Arbeit wurden aus einem Gesamtkollektiv von 60 Normalhörenden im Alter zwischen 40 und 58 Jahren, die 30 schlechter Hörenden (-30) ausgewählt und ihre Testergebnisse für den HSM-Standardtest mit 60 und 80dB Störlärm ausgewertet. Der ermittelte SNR für 50%iges Satzverständnis beträgt bei 60dB Störlärm im Durchschnitt -2,8dB, bei 80dB Störlärm -4,0dB. Die Gruppe wurde auf mögliche charakteristische Besonderheiten hin untersucht, die ermittelten Ergebnisse mit anderen Arbeiten

verglichen. Auffällig ist ein signifikanter Verständnisszuwachs für unser Probandenkollektiv bei 80dB Schallpegelniveau.

Die Gruppe der besser Hörenden weist im Vergleich dazu keinen Unterschied auf. Der Verständnisszuwachs ist in den Diskriminationskurven besonders im Bereich deutlich negativer SNR-Werte erkennbar.

Andere Autoren beschreiben ebenfalls einen Verständnisszuwachs bei höheren Pegelniveaus, es wurde jedoch auch bereits das umgekehrte Phänomen beobachtet. Möglicherweise besteht ein Zusammenhang zu Charakteristik der Prüfräume, insbesondere die Schalldämmung scheint hier von Bedeutung zu sein.

Ein Zusammenhang zwischen dem Alter der Testpersonen und der Fähigkeit zum Hören im Lärm hat sich für unser Probandenkollektiv nicht gezeigt. Im Vergleich zu Untersuchungen mit einem Probandenkollektiv zwischen 20 und 30 Jahren ergibt sich ein Unterschied von 1,3dB für das Gesamtkollektiv und 2,7dB für die Gruppe >30. Die angegebenen Werte basieren auf einem rechnerischen Ausgleich der unterschiedlichen Anzahl von Lautsprechern und haben daher nur eine orientierende Bedeutung. Die Ursachen für diese altersbedingte Verringerung der Fähigkeit im Störlärm zu hören, gehen offenbar über eine bloße Presbyakusis hinaus. Pathologische Vorgänge im Bereich der äußeren Haarzellen könnten über ein reduziertes Frequenzauflösungsvermögen die auditive Segregation erschweren. Im Bereich der zentralen Hörverarbeitung scheint mit steigendem Alter ein vermindertes zeitliches Auflösungsvermögen für akustische Reize in Erscheinung zu treten.

## 6. Literaturverzeichnis

- 1) Barth, K.: Zur Prophylaxe von Lese- Rechtschreibstörungen: Zeitliche Verarbeitungsmechanismen und ihr Zusammenhang mit phonologischer Bewusstheit und der Entwicklung von Lese-Rechtschreibkompetenz. Dissertation, Universität Dortmund, 1999.
- 2) Böhme, G., Welzl-Müller, K.: Hörprüfungen im Erwachsenen- und Kindesalter. 4. Auflage. Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 1998.
- 3) Bosman, A.: Review of speech audiometric tests. In: Kollmeier, B. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie: 11-34. Median Verlag von Killisch-Horn GmbH, Heidelberg, 1992.
- 4) Cherry, E.: Some experiments on the recognition of speech with one and with two ears. J Acoust Soc Am 25: 975-979, 1953.
- 5) Delle, D.: Sprachverstehen bei Störlärm von 60dB und 80dB gemessen mit dem HSM-Satztest bei normalhörenden Erwachsenen zur Untersuchung der Ausgewogenheit der Satzgruppen. Medizinische Dissertation, Universität Würzburg, 2002.
- 6) DIN 45 621, Teil 1: Sätze für Gehörprüfung mit Sprache. Deutsche Elektrotechnische Kommission. Fachnormenausschuß Elektrotechnik im DIN und VDE (DKE), 1973.
- 7) DIN 45 621, Teil 2: Sätze für Gehörprüfung mit Sprache. Deutsche Elektrotechnische Kommission. Fachnormenausschuß Elektrotechnik im DIN und VDE (DKE), 1980.
- 8) Fastl, H.: Ein Störgeräusch für die Sprachaudiometrie. Audiologische Akustik 26: 2-13, 1987.



- 9) Feldmann, H.: Audiometrie bei Erwachsenen. In: Berendes, J., Link, R., Zöllner, F.: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde: 11.1-11.56, 2. Auflage, Band 5: Ohr, Thieme Verlag, Stuttgart, 1979.
- 10) Flege, J., Schmidt, A.: Native speakers of Spanish show rate-dependent processing of English stop consonants. *Phonetica* 52 (2): 90-111, 1995.
- 11) Grebe, H.: Untersuchungen mit dem HSM-Satztest zum Sprachverständnis im Lärm bei Normalhörenden um 50 Jahre. Medizinische Dissertation, Universität Würzburg, 2000.
- 12) Guski, R.: Hör-Leistungen: Lokalisation, Segregierung, Cocktailparty-Effekt. Vorlesung: Einführung in die Allgemeine Psychologie 1, Teil 1, 2003.
- 13) Hellbrück, J.: Physiologie, Psychologie und Pathologie. Hogrefe Verlag, Göttingen, 1993.
- 14) Hochmair, J., Schulze, E., Moser, L., Schmidt, M.: The HSM test as a tool for evaluating the speech understanding in noise of cochlear implant users. *Am J Otol* 18, Suppl 83, 1997.
- 15) International Organisation for Standardisation (ISO): Acoustics – audiometric test methods – Part 3: Speech audiometry. ISO 8253 – 3, 1994.
- 16) Kießling, J.: Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. *Laryngo-rhinotologie* 79: 633-635, 2000.
- 17) Kießling, J., Schubert, M., Wagner, I.: Sprachverständlichkeitsmessungen an Normalhörenden und Schallempfindungsschwerhörigen – fünf Sprachtests im Vergleich. Teil 1. *Audiologische Akustik* 33 (1): 6-19, 1994.
- 18) Kollmeier, B.: Editorial. In: Kollmeier, B. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie: 7-10. Median Verlag von Killisch-Horn GmbH, Heidelberg, 1992.

- 19) Kollmeier, B., Müller, C., Wesselkamp, M., Kliem, K.: Weiterentwicklung des Reimtests nach Sotscheck. In: Kollmeier, B. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie: 216-236. Median Verlag von Killisch-Horn GmbH, Heidelberg, 1992.
- 20) Langenbeck, B.: Leitfaden der praktischen Audiometrie. Thieme, Stuttgart, 1956.
- 21) Lehnhardt, E., Laszig, R., (Hrsg.): Praxis der Audiometrie. 8. Auflage, Thieme, Stuttgart, New York, 2001.
- 22) Müller, J.: Das Hören – mit normalem Gehör. Schnecke 37: 15-16, 2002.
- 23) Müller-Deile, J.: Erprobung und Validierung von sprachaudiometrischen und anderen computergesteuerten Meßverfahren für die klinische Audiometrie. In: Abschlußbericht zum BMBF-Verbundvorhaben Förderkennzeichen 01 VJ 9314, 1-40, Kiel, 1997.
- 24) Niemeyer, W., Beckmann, G.: Ein sprachaudiometrischer Satztest. Archiv für Ohren-, Nasen-, Kehlkopfheilkunde 180: 742-749, 1962.
- 25) Platte, H.-J., Döring, W. H., Schlöndorff, G.: Richtungshören und Sprachverstehen bei „Normalhörenden“. Laryng Rhinol 57: 672-680, 1978.
- 26) Plomp, R., Duquesnoy A.: A model for speech reception threshold in noise without and with hearing aid. Scand Audiol Suppl 15: 95-111, 1982.
- 27) Reiß, M., Reiß, G.: Zur Bedeutung orientierender Hörprüfungen. Wiener Medizinische Wochenschrift, 154: 73, 2003.
- 28) Schön F., Müller, J., Helms, J.: Speech reception threshold obtained in a symmetrical four-loudspeaker arrangement from bilateral users of MED-EL cochlear implants. Otol Neurotol 23 (5): 710-714, 2002.

- 29) Schorn, K.: Stand der audiologischen Diagnostik. Deutsche Gesellschaft für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie, Verhandlungsbericht 1997, Referate: 131-176. Springer, Berlin, 1997.
- 30) Schuh, H.: Ausgewogenheit des Hochmair-, Schulz-, Moser-Satztest bei normalhörenden Personen zwischen 40 und 60 Jahren. Medizinische Dissertation, Universität Würzburg, 1999.
- 31) Schultz-Coulon, H.-J.: Über die Bedeutung des Umweltgeräusches für den Hochtonschwerhörigen. HNO 21: 26-32, 1973.
- 32) Schultz-Coulon, H.-J.: Sprachaudiometrie mit Sätzen und Geräuschen. Z. Laryng. Rhinol. 53: 734-749, 1974.
- 33) Schulze-Thüsing, R.: Sprachverstehen im Störlärm mit dem Marburger Satztest auf Compact Disc bei Normalhörenden. Medizinische Dissertation, Universität Würzburg, 1991.
- 34) Shimizu, T., Makishima, K., Yoshida, M., Yamagishi, H.: Effect of background noise on perception of English speech for Japanese listeners. Auris Nasus Larynx 29 (2):121-125, 2002.
- 35) Smoorenburg, G., De Laat, J., Plomp, R.: The effect of noise-induced hearing loss on the intelligibility of speech in noise. Scand Audiol Suppl 16: 123-133: 1982.
- 36) Sotscheck, J.: Sprachverständlichkeit bei additiven Störungen. Acustica 57: 257-267, 1985.
- 37) Sotscheck, J.: Sprachqualitätstest aus der Nachrichtentechnik. In: Kollmeier, B. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie: 35-50. Median Verlag von Killisch-Horn GmbH, Heidelberg, 1992.

- 38) Spreng, M.: Diskriminationsentscheidende Bedeutung von Kurzeitschallereignissen. Institut Physiologie und experimentelle Pathophysiologie, AG Biokybernetik, Uni-Erlangen, 2000.
- 39) Strohmaier, C.: Sprachverstehen im Störlärm mit dem Innsbrucker Satztest in der HSM-Edition auf Compact-Disc bei Normalhörenden. Medizinische Dissertation, Universität Würzburg, 1998.
- 40) Versfeld, N., Dreschler, W.: The relationship between the intelligibility of time-compressed speech and speech in noise in young and elderly listeners. *J Acoust Soc Am.* 111,(1 Pt 1): 401-408, 2002.
- 41) Wagener, K., Kühnel, V., Kollmeier, B.: Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache, Teil 1: Design des Oldenburger Satztests. *Z. für Audiologie*, 1: 4-15, 2001.
- 42) Wedel, H. v.: Reichen die heute verfügbaren sprachaudiometrischen Verfahren zur Hörgeräteanpassung? *Audiologische Akustik* 23: 66-77 und 102-120, 1984.
- 43) Wedel, H. v.: Untersuchungen zum Freiburger Sprachtest – Vergleichbarkeit der Gruppen in Hinblick auf Diagnose und Rehabilitation (Hörgeräteanpassung und Training). *Audiologische Akustik* 25: 60-73, 1986.
- 44) Wedel, H. v.: Fehlermöglichkeiten in der Ton- und Sprachaudiometrie. *HNO* 11: 939-956, 2001.
- 45) Welzl-Müller, K.: Der Einfluss des Störlärms auf die Sprachverständlichkeit. *Laryngo-rhino-otologie* 60: 117-120, 1981.
- 46) Welzl-Müller, K., Sattler, K.: Signal-to-noise-Threshold with and without hearing aid. *Scand Audiol* 13: 283-286, 1984.

- 47) Wesselkamp, M., Kliem, K., Kollmeier, B.: Erstellung eines optimierten Satztests in deutscher Sprache. In: Kollmeier, B. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie: 330-343. Median Verlag von Killisch-Horn GmbH, Heidelberg, 1992.
- 48) Zenner, H.-P.: Aktive Bewegung von Haarzellen: Ein neuer Mechanismus beim Hörvorgang. HNO 34: 133-138, 1986.
- 49) Zenner, H.-P.: Hören. In: Schmidt, R. (Hrsg.): Neuro- und Sinnesphysiologie. 3. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1998.
- 50) Zimmermann, A.: Sprachverstehen im Störlärm mit HSM-Satztest bei Hörgeräteträgern zum Vergleich der Satzgruppen. Medizinische Dissertation, Universität Würzburg, 2000.



## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei Herrn Ludwig Moser für die Betreuung dieser Arbeit bedanken. Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. Friedrich Schardt für die Übernahme des Korreferats.

Meinen Eltern und meinem Bruder danke ich sehr für Ihre Unterstützung. Meiner Freundin Tanja für Ihre Aufmunterung und Geduld.





## Lebenslauf

**Name:** Marco Matthias Scherg  
**Geburtsdatum:** 23.07.1977  
**Geburtsort:** Lohr am Main  
**Familienstand:** ledig

### Schulausbildung:

1984-1988: Grundschule Lohr-Sendelbach  
1988-1997: Franz-Ludwig-von-Erthal-Gymnasium Lohr  
27. Juni 1997: Allgemeine Hochschulreife

### Zivildienst:

1. August 1997 bis 31. August 1998: BRK Main-Spessart

### Hochschulausbildung:

09.09.1998: Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
11.10.1999: Naturwissenschaftliche Vorprüfung  
27.03.2001: Zahnärztliche Vorprüfung  
10.11.2003: Zahnärztliche Prüfung  
15.12.2003: Approbation als Zahnarzt

### Beruf:

seit 1. Mai 2004: Assistenz Zahnarzt in Iphofen

