

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

Direktor: Professor Dr. med. J. Helms

**Sprachverstehen im Störlärm mit dem Hochmair-Schulz-Moser (HSM)-Satztest
-audiometrische Normwerte junger Erwachsener bei binaural alternierender
Sprachdarbietung mit Einsteckhörern**

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

der

Bayrischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von

Esther L. Hunsmann

aus Göttingen

Würzburg , November 2004

Referent: Professor Dr. med. J. Helms

Koreferent: Professor Dr. med. F. Schardt

Dekan: Prof. Dr. med. G. Ertl

Tag der mündlichen Prüfung: 26. April 2005

Die Promovendin ist Ärztin

meinen Eltern

Inhalt

1.	Einleitung	Seite
1.1	Vorteile der Sprachaudiometrie	1
1.2	Techniken der Sprachaudiometrie	1
1.3	Zielsetzung	5
2.	Material und Methoden	
2.1	Versuchspersonen	6
2.2	Sprachmaterial	6
2.3	Störgeräusch	7
2.4	Binaural alternierende Sprache	9
2.5	Räumlichkeiten und technische Geräte	9
2.6	Versuchsaufbau und Ablauf	9
2.7	Dokumentation	11
2.8	Das Sprachaudiogramm	11
2.9	Auswertung	13
3.	Ergebnisse	
3.1	Sprachverstehen im Störgeräusch in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Abstand (S/N-Ratio)	14
3.2	Besseres Sprachverstehen bei 80 dB Störlärm	16
3.3	Analyse möglicher Störfaktoren	
3.3.1	Kein wesentlicher Einfluss des individuellen Antwortverhaltens	18
3.3.2	Sprachverständnis unabhängig von der Satzgruppenposition	19

4.	Diskussion	
4.1	Sprachverständnis in Abhängigkeit vom Störschallpegel	22
4.1.1	Gesamtverständnis	22
4.1.2	Verständniszuwachs	23
4.1.3	Sprachverständlichkeitsschwelle	25
4.2	Einfluss möglicher Störfaktoren	
4.2.1	Zum Einfluss des Antwortverhaltens	27
4.2.2	Zum Einfluss der Satzgruppenposition	29
4.3	Fehlermöglichkeiten und Ausblick	30
5.	Zusammenfassung	33
6.	Anhang	
	Literatur	35
	Fragebogen	40

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

CCITT	franz.: Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique
HSM-Test	Hochmair-Schulz-Moser-Test
MdE	Minderung der Erwerbsfähigkeit
OLSA	Oldenburger Satztest
S/N-Ratio	engl.: signal-to-noise ratio (Signal-Rauschabstand)
SPIN-Test	engl.: speech perception in noise test
SRT	engl.: speech reception threshold (Sprachverständlichkeitsschwelle)

1. Einleitung

1.1 Vorteile der Sprachaudiometrie

Das Ohr ist unser empfindlichstes Sinnesorgan. Die Ausprägung seiner Funktion im Zusammenspiel mit der Fähigkeit Sprache zu erzeugen ist sicher eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung des Menschen. Das Hörorgan vermittelt nicht bloß Signale in Form von Luftdruckschwankungen eines bestimmten Frequenzbereichs aus der Umwelt, sondern es versetzt uns Menschen in die Lage, in einzigartiger Vielfältigkeit in mehreren Tausend Sprachen miteinander zu kommunizieren. Die sprachliche Kommunikation ermöglichte die gesellschaftliche und soziale Strukturierung bis hin zum arbeitsteiligen Zusammenleben. Erst dadurch konnte eine Kultur entstehen, die nicht nur die Einführung landwirtschaftlicher und industrieller Techniken erlaubte, sondern auch die Entfaltung der Künste und Wissenschaften.

Die Leistung des Gehörs als Empfänger in der menschlichen Kommunikation kann durch unterschiedliche Methoden gemessen werden. Die Reintonaudiometrie prüft einzig die Fähigkeit zur Wahrnehmung einzelner Töne. Diese Technik wird am häufigsten durchgeführt, da sie einfach, schnell und reproduzierbar ist. Sie liefert Informationen über das Ausmaß des Hörverlusts und erlaubt u.U. Rückschlüsse über dessen Ätiologie und Lokalisation [23]. Viele Tierarten jedoch übertreffen die Hörfähigkeit des Menschen bei weitem, sowohl in der Breite des wahrnehmbaren Frequenzspektrums und seines dynamischen Bereichs als auch in der Empfindlichkeit der Hörschwelle. Der schwerwiegende Nachteil der Tonaudiometrie ist daher, dass die wesentliche Aufgabe des Hörens, das Empfangen sprachlich kodierter Botschaften, nicht geprüft werden kann. Diese zentrale Funktion kann ausschließlich mit Hilfe der Sprachaudiometrie untersucht werden.

1.2 Techniken der Sprachaudiometrie

Das Arsenal der Sprachaudiometrie umfaßt eine Palette vielfältiger Verfahren. Zuerst wurde mit der sogenannten Hörweitenprüfung das Verständnis von Einsilbern

und Zahlen in Flüstersprache bzw. normaler Gesprächslautstärke in Abhängigkeit von der Entfernung gemessen. Diese Techniken bedurften keines apparativen Aufwands. Sie waren aber mit großen Ungenauigkeiten behaftet, da die Ergebnisse u.a. vom Untersucher und der Raumakustik abhingen. Die Verbesserung der Sprachaudiometrie ist eng gekoppelt an die Fortentwicklung elektronischer Möglichkeiten zur Sprachaufzeichnung und -wiedergabe sowie der rechnergestützten Testauswertung aber auch der Kontrolle des akustischen Umfeldes.

Sprachaudiometrische Untersuchungen sind unerlässlich insbesondere bei der Verordnung und Anpassung von Hörgeräten und Cochlea-Implantaten, der Abklärung verschiedener Formen von Schwerhörigkeit sowie arbeitsmedizinischen gutachterlichen Tätigkeiten im Rahmen von Untersuchungen zur Minderung der Erwerbsfähigkeit (MdE). Auch die Überprüfung des Reintonaudiogramms und die die Abklärung bei Simulation und Aggravation zählen zu ihren Indikationen [3].

Der erste standardisierte Sprachtest in deutscher Sprache war der 1957 von Halbrock entwickelte Freiburger Test. Er besteht aus zehn Gruppen zweistelliger Zahlen und 20 Gruppen einsilbiger Substantive. Es werden sowohl Zahlen als auch Substantive verwendet, da beide Messungen unterschiedliche diagnostische Aussagen treffen. Während mit Hilfe von Zahlen die Sprachverständlichkeitsschwelle bestimmt wird, dient der Wörtertest der Ermittlung des Diskriminationsverlusts [23]. Zahlen werden aufgrund der höheren Redundanz und damit leichteren Erratbarkeit besser verstanden als Wörter. Gegen den Freiburger Sprachverständlichkeitstest wurde insbesondere die Unausgewogenheit und dadurch fehlende Vergleichbarkeit der Einsilber-Gruppen eingewandt [2, 40]. Zusätzlich wurde beanstandet, dass allein die Qualität der Tonträger und der Wiedergabegeräte bei der Ermittlung der MdE bereits zu Unterschieden von bis zu 15 % führen können [42]. Dennoch hat sich dieser Test im deutschsprachigen Raum weitgehend durchgesetzt und findet nach wie vor breite Anwendung.

Mögen einzelne Wörter für die Beschreibung von Begriffen ausreichen, können sie dennoch keine sinnvollen Botschaften übermitteln, geschweige denn komplexere Zusammenhänge ausdrücken. Nach Niemeyer [26] macht erst die Fähigkeit Sätze zu verstehen den Wert des Gehörs als Werkzeug zum Sozialkontakt aus. Dementsprechend wird eine Hörstörung in dem Maße als Behinderung empfunden, wie sie das Satzverständnis beeinträchtigt.

Daher entwickelte er 1962 den Marburger Satztest [25], der aus 10 Testlisten mit jeweils 10 Sätzen besteht. Mit diesem Satztest zeigte sich, dass das Verständnis ganzer Sätze zwischen dem von Zahlen und Wörtern liegt, wobei es sich mit zunehmender Schwerhörigkeit der Versuchsperson immer mehr der Zahlenkurve nähert. Ganze Sätze enthalten eine spezifische Informationsreserve. Diese kann aus der Information des inhaltlichen und grammatikalischen Zusammenhangs Hörlücken überbrücken. Mit diesem Test wurde erkannt, dass das Einzelwortverständnis bei Normalhörigen direkte Schlüsse auf das Satzverständnis zulässt. Bei Schwerhörigen mit gestörter Schallempfindung ist dies jedoch nicht möglich. Demnach ist das Satzverständnis bei sensorineuralem Hörverlust nur mittels Satzprüfung eindeutig zu bestimmen [26]. Dieser Test wurde vor allem kritisiert, weil seine Satzkonstruktionen teilweise unvollständig sind und die kleine Anzahl an Satzgruppen eine mehrmalige Kontrolluntersuchung beider Ohren nicht gestattet [34].

Der Göttinger Satztest nach Wesselkamp et al. [46] ist eine Weiterentwicklung des Marburger Satztests. Er besteht aus 20 Listen zu je 10 Sätzen und ist computergesteuert durchführbar. Die relativ geringe Zahl an Testlisten und die schnelle Aufsprache schränken seinen Einsatz bei höhergradigen Hörstörungen jedoch ein [21].

Eine deutlich langsamere Aufsprache und eine große Anzahl an Testlisten bietet der 1996 von Hochmair-Desoyer, Schulz und Moser speziell für die wiederholte Messung der Sprachverständlichkeit von Cochlea-Implantierten entwickelte HSM-Satztest. Im Gegensatz zu den primär analog auf Tonband gespeicherten CD-Kopien des Marburger Satztests, die immer noch das Bandrauschen des Originals enthielt, wurde der HSM-Satztest unmittelbar digital auf CD gesprochen. Die Testverfahren müssen dem hochentwickelten technischen Niveau der Cochlea-Implantate entsprechen [40]. Ebenso ist im HSM-Test ein genormtes Störgeräusch auf der CD verfügbar.

Einen anderen Weg schlägt der Oldenburger Satztest (OLSA) ein, der 1999 von Wagener et al. [38a-c] geschaffen wurde. Er ist ein geschlossener Test bestehend aus einem Wörternvorrat von je 10 Vornamen, Verben, Zahlen, Adjektiven und Objekten. Durch Randomisieren dieses Wortmaterials entstehen teilweise wenig sinnvolle und daher kaum vorhersagbare Sätze mit identischer Satzstruktur. Insbesondere bei den Vornamen gibt es große Unterschiede in der Verständlichkeit. Durch Optimierung des

Sprachmaterials und Korrektur der Pegelabweichungen konnte jedoch eine hohe Homogenität der einzelnen Listen erreicht werden.

Weitere Entwicklungen im Bereich der deutschsprachigen Audiometrie sind die Reimtests nach Sotscheck, Wallenberg und Kollmeier als Testverfahren mit geschlossenen Antwortmöglichkeiten, der Logatom Test nach Dillier und Spillmann [10], der das Verständnis sinnleerer Wörter untersucht sowie der Basler Satztest nach Tschopp und Ingold. Dieser Test bewertet lediglich das Verständnis eines einsilbigen Schlüsselwortes am Satzende, welches in unterschiedlichem Maße aus dem Satzzusammenhang vorhersagbar ist. Die separate Auswertung des Verständnisses der Zielwörter mit hoher bzw. niedriger Vorhersagbarkeit soll Hinweise auf die zentral-auditive Verarbeitung liefern [37].

Diese Vielfalt des sprachaudiometrischen Testmaterials bedeutet keine Zersplitterung des Untersuchungsverfahrens. Vielmehr ist sie die logische Konsequenz auf die Vielschichtigkeit des Phänomens Sprachwahrnehmung, das neben akustischen auch psychologische, phonetische und linguistische Komponenten beinhaltet sowie auf die Fülle unterschiedlicher Fragestellungen (Diagnostik, Begutachtung etc.), mit denen dieses untersucht wird [26, 20, 6]. Für diese große Zahl an Anforderungen ist es weder möglich noch sinnvoll ein universelles Sprachtestmaterial zu entwickeln.

Im alltäglichen Leben wird das Sprachverstehen durch Störgeräusche erschwert. Oft manifestieren sich Hörprobleme älterer Menschen sogar erst in solchen Situationen, wie im Stimmengewirr einer Gaststätte (Cocktail-Party-Effekt) während das Sprachverstehen in Ruhe zunächst unbeeinträchtigt bleibt [12, 28]. Dieser Effekt wird durch Verhallung, wie sie in jeder nicht schallfreien Umgebung auftritt, verstärkt [17]. Untersuchungen von Schulz-Coulon [34] und Welzl-Müller [43, 44] ergaben, dass Hochtonschwerhörige in besonderem Maße durch Störgeräusche beeinträchtigt sind. Außerdem zeigten Plomp und Mimpen [30], dass Personen mit vergleichbarem Sprachverstehen in Ruhe, im Störgeräusch diesbezüglich deutliche Unterschiede aufweisen. Daraus folgerte v. Wedel, dass Untersuchungen zur Sprachdiskrimination in Abwesenheit umweltbedingter Störgeräusche nicht nur die reale Hörsituation ignorieren, sondern das wirkliche Perzeptionsvermögen von Sprachsignalen verfälschen [39].

1.3 Zielsetzung

Diese Arbeit verfolgt im Wesentlichen folgende Ziele: Um eine Grundlage für nachfolgende Untersuchungen an Schwerhörigen zu bilden, soll das Sprachverstehen im Störlärm mit dem HSM-Satztest für Normalhörende um 25 Jahre untersucht werden. Eine Normdefinierung in dieser Altersgruppe ist insofern wichtig, da es sich hierbei sowohl um einen maximal kooperativen und konzentrationsfähigen Personenkreis als auch um eine Altersstufe handelt, in der schleichende Hörverluste im Sinne einer lärm- oder altersbedingten Schwerhörigkeit unwahrscheinlich sind und somit eine Normalhörigkeit wahrscheinlich ist. Um zu erfassen, inwiefern sich der Störgeräuschpegel auf das Satzverständnis auswirkt, werden Messungen bei 60 und 80 dB verglichen. Weiterhin sollen der Einfluss des Antwortverhaltens und der Position der Satzgruppe als mögliche Störfaktoren auf das Testergebnis untersucht werden.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchspersonen

An den Versuchen nahmen je 15 Frauen und Männer im Alter zwischen 20 und 29 Jahren teil. Die Männer waren durchschnittlich 24,7 Jahre, die Frauen 24,9 Jahre alt. Das mittlere Alter der 30 Probanden betrug somit 24,8 Jahre. Es waren überwiegend Medizinstudenten, die sich nach persönlicher Ansprache unentgeltlich an den Versuchen beteiligen wollten. Teilnahme Kriterien waren ein Alter zwischen 20 und 29 Jahren, Deutsch als Muttersprache, sowie Normalhörigkeit. Zur Standardisierung des Hörvermögens füllten alle Probanden zu Beginn des Versuchs einen Fragebogen aus (Anhang 1). Hierbei wurde im Wesentlichen nach bekannten Hörstörungen, vorangegangenen Operationen im Ohrbereich, sowie sonstigen Erkrankungen und Verhaltensweisen, die die Hörleistung beeinträchtigen können, gefragt. Die Auswertung der Fragebögen ergab keine Auffälligkeiten, die zum Studienausschluss geführt hätten, mit folgenden Ausnahmen: Bezüglich Operationen des Mittel- und Innenohrs erklärte ein Proband vor 21 Jahren wegen eines Serotympanons beidseits mit Paukenröhrchen versorgt worden zu sein. Zwei andere Probanden gaben an, aufgrund ihres Zahnmedizinstudiums seit drei Jahren regelmäßig Turbinenlärm ausgesetzt zu sein. Da sich diese drei Probanden subjektiv als normalhörig einschätzten und ihre Ergebnisse nicht von denen des restlichen Probandenkollektivs abwichen, wurden sie nicht aus der Studie ausgeschlossen.

2.2 Sprachmaterial

Als Sprachmaterial diente der Hochmair-Schulz-Moser (HSM)-Satztest. Dies ist ein Satztest in deutscher Sprache, der aus 30 Satzgruppen von 20 Sätzen, sowie aus drei Testgruppen von 10 Sätzen besteht [18]. Jede Satzgruppe besteht aus 106 Wörtern, wobei zusammengesetzte Wörter teilweise als zwei Wörter gezählt werden. Die Wörter sind auf jeweils zwei Dreiwortsätze, vier Vierwortsätze, sechs Fünfwortsätze, vier

Sechswortsätze, zwei Siebenwortsätze und zwei Achtwortsätze in gleicher Reihenfolge aufgeteilt. Auf die Anzahl der Wörter sowie die Länge und Art der Sätze bezogen enthalten die Testgruppen das halbe Satzmaterial einer Satzgruppe, d.h. je einen Satz mit drei, zwei mit vier, drei mit fünf, zwei mit sechs, einen mit sieben und einen mit acht Wörtern. Somit enthält eine Testgruppe 53 Wörter.

Die Sätze geben für sich gesehen einen Sinn, ein inhaltlicher Zusammenhang von aufeinanderfolgenden Sätzen besteht jedoch nicht. Der Wortschatz des HSM-Satztests ist der deutschen Alltagssprache entnommen. Im Gegensatz zum Marburger Satztest enthält er keine Sprichwörter oder Redewendungen, die die Redundanz steigern würden. Ebenso wenig kommen emotional behaftete Wörter vor, deren Verständlichkeit geringer ist [40]. Neben Aussagesätzen werden auch Fragen und Aufforderungssätze verwendet, womit dem Sprachmaterial des täglichen Lebens Rechnung getragen wird.

Die Untersuchungen von Delle [9] an Normalhörenden zeigten eine Ausgewogenheit der Satzgruppen des HSM- Satztests. Dies konnte Zimmermann [49] nach Messungen an Hörgeräteträgern bestätigen.

Der HSM-Satztest wurde speziell für die Betreuung von Cochlea-Implant-Trägern entwickelt. Hierbei sind wiederholte Messungen der Sprachverständlichkeit nötig, die eine große Anzahl an Satzgruppen mit moderater Sprachgeschwindigkeit erfordern [18].

Das Satzmaterial wurde von Fabian von Klitzing, Nachrichtensprecher beim Bayerischen Rundfunk, auf CD gesprochen. Auf der CD ist ebenfalls ein sprachsimulierendes Störgeräusch, standardisiert nach dem Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique (CCITT) Rec.227, verfügbar.

2.3 Störgeräusch

Störgeräusche beeinflussen das Sprachverständnis in Abhängigkeit von ihrer Intensität, ihrem Frequenzspektrum und ihrer zeitlichen Struktur. Um den vielgestaltigen Störgeräuschen menschlicher Verständigung gerecht zu werden, werden in der Sprachaudiometrie Musik, deutsche Sprache, Fremdsprachen, Straßen- und

Industrielärm sowie Rauschen unterschiedlicher Bandbreite und Frequenz als Störschall verwendet [41].

Bei diesen Versuchen wurde das unter 2.2 genannte CCITT-Störgeräusch eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein sprachsimulierendes Rauschen mit einem Hauptfrequenzanteil in den tieferen Frequenzbereichen unter 1 kHz (s. Abb.1). Dadurch kommt es sowohl dem Frequenzspektrum häufig in der Umwelt vorkommender Störgeräusche als auch dem menschlicher Sprache sehr nahe. Bei Untersuchungen verschiedener Störgeräusche zeigte v. Wedel [41], dass die weitgehend konstanten Pegel dieses Störgeräuschs im Vergleich zu Störsprache zu einer gleichmäßigeren Verdeckung der Testsprache führen. Da es sich beim Rauschen nach CCITT um ein genormtes und somit vergleichbares und reproduzierbares Störgeräusch handelt, welches die tatsächlichen Störgeräuschqualitäten im Alltag am ehesten widerspiegelt, wurde es in diesen Versuchen benutzt.

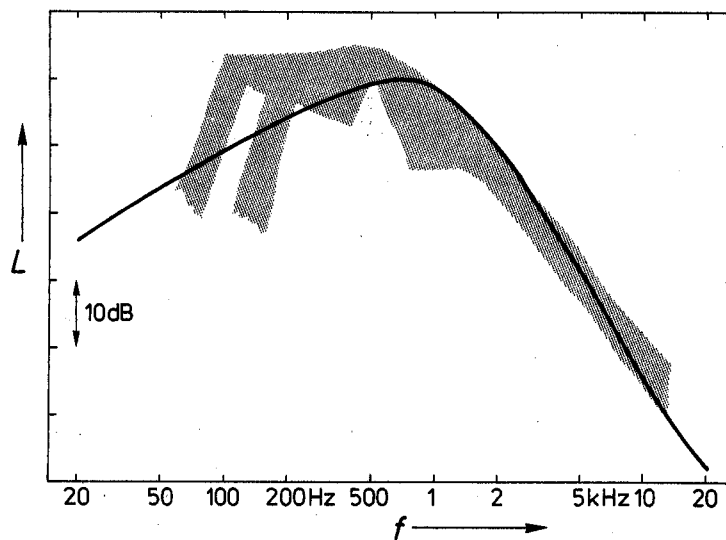


Abb.1: Sprachbewertetes Rauschen nach CCITT Rec.227 (Kurve) und Spektralverteilung von Sprache (getönte Fläche) [aus Fastl, 14]

2.4 Binaural alternierende Sprache

Für die Präsentation des Satzmaterials wurde die Einstellung nach Bocca und Calcareo gewählt [5]. Diese Testanordnung binaural alternierender Sprache wurde in den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts im Rahmen der zentralen Hördiagnostik entwickelt, um bei Schäden der Hörbahn zwischen Hirnstamm- und Hirnrindenläsionen unterscheiden zu können. Es wurde beobachtet, dass zentrale Störungen trotz eines normalen Reintonaudiogramms mit teilweise erheblichen Behinderungen des Sprachverstehens einhergehen. Bei diesem Verfahren wird der Bruchteil eines Wortes dem einen und der nächste dem anderen Ohr zugeleitet. Die Testsprache wird für die Dauer eines Satzes also nur aus einem Kanal präsentiert, der mehrfach pro Sekunde zwischen beiden Ohren wechselt. Dadurch empfindet der Proband die Sprache verhallt. Ziel dieser Methode ist es, die Redundanz der Sprache auf ein Minimum zu reduzieren, um so an die Leistungsgrenzen der zentralen Hörbahn zu gelangen [23].

2.5 Räumlichkeiten und technische Geräte

Die Messungen fanden in der Camera Silens der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenkrankheiten der Universität Würzburg statt. Dieser Raum ist aufgrund seiner besonderen Dämpfung schalldicht, störgeräuschfrei und besonders reflexionsarm. Für die Untersuchungen wurden ein PC mit einem von Herrn Dipl.-Ing. (FH) Möltner ausgearbeiteten audiometrischen Testprogramm sowie leicht verformbare Einweg-Einsteckhörer aus Schaumstoff verwendet.

2.6 Versuchsaufbau und Ablauf

Zu Beginn des Versuchs wurde der Proband gebeten, auf dem Audiometriestuhl Platz zu nehmen und erhielt den oben beschriebenen Fragebogen sowie passende Einweg-Einsteckhörer. Anschließend wurde die Versuchsperson in den Versuchsablauf eingewiesen. Hierbei wurde sie aufgefordert, alle Wörter des folgenden Satzmaterials,

die sie meinte verstanden zu haben, unabhängig von ihrer Sinnhaftigkeit im Anschluss an jeden Satz laut zu wiederholen. Vor Beginn der Satzpräsentationen wurde der einwandfreie Sitz der Einsteckhörer überprüft.

Die folgenden Messungen fanden bei Störschallpegeln von 60 und 80 dB statt. Diese Pegel wurden gewählt, da 60 dB in etwa dem Pegel in einem Restaurant und 80 dB dem Hintergrund von starkem Verkehrslärm entspricht [33]. Bei jedem Störschallpegel wurden zuerst eine Testgruppe von 10 Sätzen und anschließend zwei Satzgruppen von 20 Sätzen präsentiert. Insgesamt wurden alle 30 Satzgruppen des HSM-Tests bei 60 und 80 dB Störschall je zwei Mal an unterschiedlichen Probanden untersucht. Die Testgruppe diente der Gewöhnung des Probanden an das Sprachmaterial und sollte eine Auswirkung des Lerneffekts auf die folgenden Satzgruppen minimieren. Die Ergebnisse der Testgruppe fanden keinen Eingang in die Versuchsdaten. Um die Motivation der Versuchspersonen über die Dauer des Tests zu erhalten, wurden alle Versuchspersonen zuerst bei 60 dB und anschließend bei 80 dB Störschall gemessen.

Für die Präsentation des Satzmaterials wurde die Einstellung nach Bocca und Calearo gewählt, wobei das Sprachsignal alle 50 ms die Seite wechselte. Der Störschall wurde über beide Kopfhörer gleichzeitig eingespielt. Obwohl die Verwendung der Kopfhörer nicht der natürlichen Situation entspricht, ist sie doch insofern objektiver, als sie eine Unabhängigkeit von Kopfbewegungen herstellt und somit ausschließlich die Leistungen des Hörapparates misst.

Nach Abschluss der Hörprüfung wurde das Antwortverhalten des Probanden von der Prüferin in eine der Kategorien „zurückhaltend“, „mittel“ oder „forsch“ eingeordnet. Zurückhaltende Versuchspersonen wiederholten ausschließlich Wörter, die sie sicher verstanden hatten und wenn sich für sie aus dem Gehörten ein Sinn ergab. Probanden der mittleren Gruppe waren eher bereit nicht sicher verstandene Wörter zu wiederholen, auch wenn es sich um scheinbar sinnlose Satzfragmente handelte. Forschende hingegen wiederholten teilweise vollständige Sätze nicht verstandenen Wortmaterials oder füllten Verständnislücken phantasievoll aus.

Alle 30 Probanden wurden von der gleichen Person in einem Zeitraum von zwei Monaten untersucht. Die Prüfung eines Probanden dauerte 30 Minuten.

2.7 Dokumentation

Die von der Versuchsperson laut wiederholten Wörter des Satzmaterials wurden im Anschluß an jeden Satz überprüft. Abhängig von der Anzahl der richtig verstandenen Wörter wurde das Satzverständnis von der Prüferin in einer der Kategorien „nichts verstanden“ (entspricht 0 %), „wenig verstanden“ (entspricht 33 %), „viel verstanden“ (entspricht 66 %) oder „alles verstanden“ (entspricht 100 %) protokolliert. Ähnlich klingende Wörter wurden als falsch gewertet und nicht weiter vermerkt. Wurden genau die Hälfte der Wörter eines Satzes richtig verstanden, richtete sich die Einteilung in eine der beiden Gruppen „wenig verstanden“ oder „viel verstanden“ nach der Länge oder Bedeutung der richtig verstandenen Wörter. In allen anderen Fällen spielte die Bedeutung oder Sinnhaftigkeit des verstandenen Satzmaterials keine Rolle. In Abhängigkeit vom Satzverständnis hat das Testprogramm den nächsten Satz 1 bzw. 2 dB lauter oder leiser präsentiert. Dabei blieb die Lautstärke des Störgeräuschs mit 60 bzw. 80 dB konstant.

Eingang in die Dokumentation fanden ausschließlich die Daten aus den Satzgruppen. Die Daten der Testgruppen wurden nicht gespeichert.

2.8 Das Sprachaudiogramm

Die Reintonaudiometrie bestimmt die Hörschwelle anhand der Entscheidung „gehört“ bzw. „nicht gehört“. Sprachaudiometrische Verfahren hingegen sind Bestandteil der überschwelligen Audiometrie und dienen der Untersuchung des Sprachverständnisses, wobei eine Differenzierung zwischen „verstanden“ und „nicht verstanden“ notwendig ist.

Die Größe, die das Verstehen von Sprachmaterial quantitativ beschreibt, ist die Sprachverständlichkeitsschwelle, engl. speech reception threshold (SRT). Sie ist definiert als derjenige Sprachschallpegel, bei dem die Versuchsperson die Hälfte des präsentierten Sprachmaterials korrekt wiederholt. Dieser Pegel wird mit Hilfe eines adaptiven Sprachtestverfahrens ermittelt. Hierbei wird bei konstantem Störschallpegel der Sprachschallpegel während der Messung abhängig von der Richtigkeit der

Antworten verändert. Wurde beispielsweise ein Satz komplett richtig verstanden, wird der nächste Satz mit einem um 2 dB leiseren Sprachschallpegel präsentiert. Wurde der Satz nicht verstanden, wird der folgende mit einem um 2 dB lauterem Sprachschallpegel dargeboten. Bei geringem bzw. überwiegendem Satzverständnis wird der Sprachschallpegel dementsprechend um 1 dB variiert. Mit diesem Verfahren kann die Sprachverständlichkeitsschwelle effizient und insbesondere bei automatischer Durchführung einfach bestimmt werden.

Die Diskriminationsfunktion ergibt sich aus der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom Sprachschallpegel. Diese beschreibt Sprachverstehen über einem dynamischen Bereich. Wird zusätzlich ein Störgeräusch angeboten, resultiert sie aus der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Abstand, engl. signal-to-noise ratio (S/N-Ratio). Die Diskriminationsfunktion hat bei Normalhörenden eine annähernd s-förmige Form. Die Hauptcharakteristiken dieser Funktion sind die Sprachverständlichkeitsschwelle (Sprachschallpegel bei fünfzigprozentigem Sprachverstehen), die Steigung der Kurve und die maximal erreichbare Verständlichkeit. Die Steigung beschreibt den Verständlichkeitsgewinn pro dB Sprachschallpegel und ist in erster Linie vom angebotenen Sprachmaterial abhängig. Die Differenz zwischen der maximal erreichbaren Verständlichkeit von Normalhörenden und Hörgeschädigten stellt den Diskriminationsverlust dar [6, 38b].

Weitere Einflussfaktoren auf die Diskriminationsfunktion sind u.a. die Länge der Test-Items, die Äquivalenz der Test-Einheiten, der Informationsgehalt des Testmaterials sowie die Darbietung des Sprachmaterials in Ruhe oder im Störgeräusch [22]. Abbildung 2 zeigt die Diskriminationsfunktionen Normal- und Schwerhöriger.

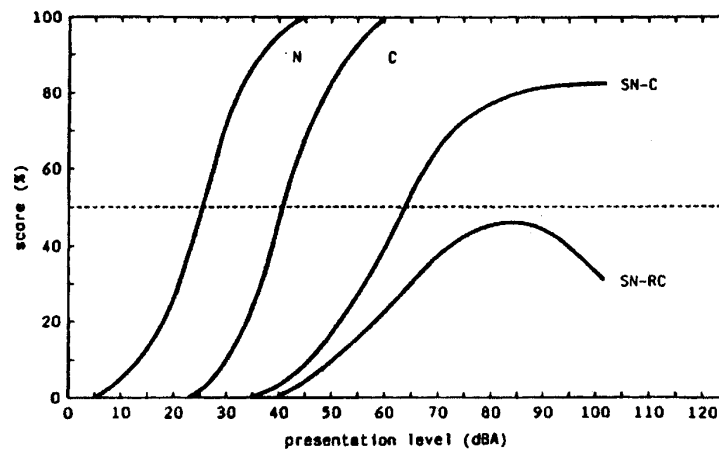


Abb. 2 Idealisiertes Sprachaudiogramm für Normalhörende (N), Schalleitungs-Hörverlust (C), Schallempfindungsschwerhörigkeit (SN) und Patienten mit einer schweren Schallempfindungsschwerhörigkeit, häufig retrocochleären Ursprungs, bei denen die Diskriminationsrate beim höchsten tolerierbaren Pegel absinkt („Roll-Over-Phänomen“, SN-RC) [aus Bosmann, 6]

2.9 Auswertung

Die gewonnenen Messwerte wurden mit den Statistikprogrammen Microsoft Excel und SPSS 11,0 erfasst und ausgewertet. Von den einzelnen Probanden wurden im Verlauf der Sprachverständlichkeitsuntersuchung der Sprachschallpegel, der Störschallpegel und die Prozentzahl richtig verstandener Wörter pro Satz gemessen und die Probandennummer, die Satzgruppe, die Satznummer, das Störgeräusch, die Anzahl der Wörter pro Satz, der Signal-Rausch-Abstand, das Antwortverhalten sowie Alter und Geschlecht des Probanden protokolliert und der Auswertung zugeführt.

3. Ergebnisse

Um eine Grundlage für klinische Untersuchungen an Schwerhörigen zu erhalten, wurde das Sprachverständnis 30 normalhörender, junger Erwachsener mit dem HSM-Satztest untersucht. Ferner wurde überprüft, inwiefern sich das Antwortverhalten der Probanden und die Position der Satzgruppe auf das Sprachverstehen auswirken.

3.1 Sprachverstehen im Störgeräusch in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Abstand (S/N-Ratio)

Als Erstes wurde das Wortverständnis des Gesamtkollektivs untersucht. Dazu wurde das prozentuale Satzverständnis in Abhängigkeit von der S/N-Ratio graphisch dargestellt. Abbildung 3 zeigt das Diagramm der Regressionsgeraden sowie der 95 %-Konfidenzintervalle, d.h. der Grenzen innerhalb derer die Regressionsgerade bei erneuten Messungen an demselben Probandenkollektiv mit 95 % Wahrscheinlichkeit läge.

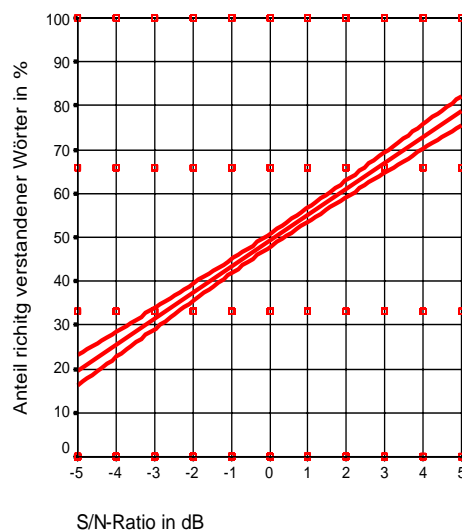


Abb. 3: Wortverständnis in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Abstand

Die mittlere Sprachverständlichkeitsschwelle als S/N-Ratio bei fünfzigprozentigem Satzverstehen ist im Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der Gerade $y = 50$ abzulesen. Sie beträgt 0 dB. Dies bedeutet, dass die Versuchsperson bei gleich lautem Sprach- und Störschallpegel die Hälfte der dargebotenen Wörter korrekt

nachsprechen kann. Der mittlere Verständniszuwachs entspricht der Steigung der Regressionsgeraden bei abnehmendem Abstand zwischen Sprache und Störlärm. Er beträgt 6 % / dB Abstandsverringerung. Der Mittelwert aller Verständnisquoten liegt bei 50 % und entspricht somit dem angestrebten Bereich der Sprachverständlichkeitsschwelle. Die Standardabweichung der Verständnisquoten beträgt 41, wobei daran erinnert sei, dass die Verständnisquote lediglich die Werte 0 %, 33 %, 66 % oder 100 % annehmen konnte.

Um die dynamische Komponente des Sprachverstehens zu untersuchen, ist eine Betrachtung des Satzverständnisses in Abhängigkeit von der S/N-Ratio notwendig. Diese lag im Mittel bei 0 dB. Der Median beträgt ebenfalls 0 dB. Damit wurden ebenso viele Sätze bei einem positiven wie negativen Signal-Rausch-Abstand gemessen. Die Standardabweichung beträgt 2,5 dB. Der Vertrauensbereich, in dem zwei Drittel der Sätze gemessen wurden, ist gekennzeichnet durch den Median +/- Standardabweichung und reicht somit von -2,5 dB bis 2,5 dB. Der niedrigste Signal-Rausch-Abstand ist -9 dB, der höchste 9 dB. Daher umfasst die Spannweite 18 dB. Abbildung 4 zeigt die Normalverteilung der gemessenen Signal-Rausch-Abstände.

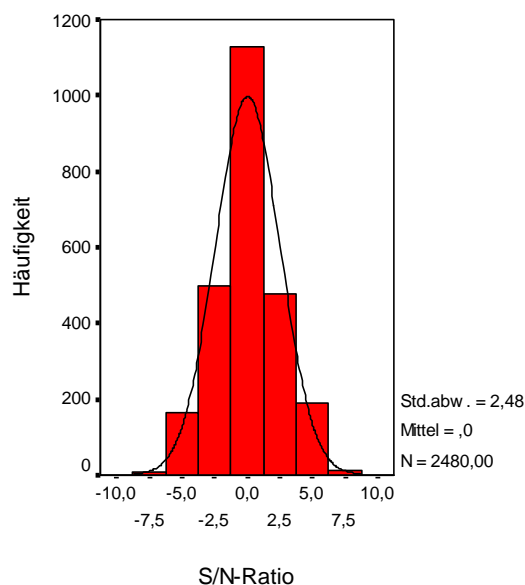


Abb. 4: Histogramm der S/N-Ratio

Achtzig überzählige Sätze ergeben sich aus folgendem Zusammenhang: Bei der Untersuchung zweier Probanden wurde ein über die Testgruppe hinaus gehender Lerneffekt in der ersten Satzgruppe vermutet und daher je eine weitere Satzgruppe getestet. Aus Gründen der Messsymmetrie wurden diese ersten Satzgruppen an jeweils einem weiteren Probanden zusätzlich untersucht.

3.2 Besseres Sprachverstehen bei 80 dB Störlärm

Um den Einfluss des Störschallpegels auf das Sprachverstehen untersuchen zu können, müssen die Ergebnisse für 60 und 80 dB getrennt betrachtet werden. Beide Regressionsgeraden sowie die 95 %-Konfidenzintervalle sind in Abbildung 5 dargestellt. Für das Wortverständnis bei 60 dB Störlärm liegt die Sprachverständlichkeitsschwelle (SRT) bei 1 dB. Der theoretische Verständniszuwachs beträgt 7 % / dB Abstandsverringering.

Gleiche Berechnungen für die Messungen bei 80 dB Störschall ergeben für die SRT -1 dB und für den theoretischen Verständniszuwachs 6 %/ dB. Damit beträgt die Differenz der SRT bei diesen beiden Pegeln 2 dB. Demnach reicht bei höherem Störschallpegel ein relativ geringerer Sprachschallpegel aus, um die gleiche Verständlichkeit zu erreichen. Da sich die Konfidenzintervalle für 60 und 80 dB über weite Bereiche der S/N-Ratio nicht überschneiden, sind die Ergebnisse für den Bereich des kritischen Signal-Rausch-Abstands signifikant.

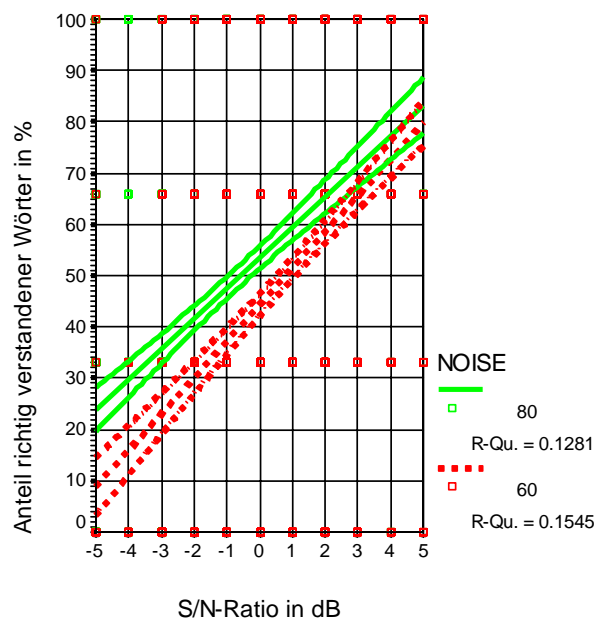


Abb. 5: Wortverständnis in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Abstand für 60 und 80 dB

Eine weitere Darstellung der S/N-Ratio für beide Störschallpegel liefert Tabelle 1. Hierbei verdeutlichen insbesondere die Unterschiede für den Mittelwert und die Perzentilenverteilung ein besseres Sprachverstehen bei 80 dB. Eine Varianzanalyse, die

bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % für die Differenz der S/N-Ratio beider Störschallpegel einen p-Wert $< 0,001$ ergibt, bestätigt die Signifikanz.

Tab.1: Eigenschaften der S/N-Ratio für 60 und 80 dB Störschall

S/N-RATIO	60 dB	80 dB
Mittelwert	1	-1
Median	1	-1
Standardabweichung	2,3	2,4
Spannweite	16	16
Minimum	-7	-9
Maximum	9	7
Perzentile 25	-1	-2
Perzentile 50	1	-1
Perzentile 75	2	1

Abb. 6 zeigt die Verständnisquoten in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Abstand für beide Störschallpegel. Es sind lediglich Messungen zwischen -3 dB und 3 dB dargestellt, da die Häufigkeit, mit der niedrigere bzw. höhere S/N-Ratio gemessen wurden, zu den Rändern hin stark abnimmt und somit Ausreißer in den Randbereichen besonders stark ins Gewicht fallen. Der dargestellte Rahmen umfasst 85 % der gemessenen Sätze. Es wird deutlich, dass das Sprachverständnis unabhängig vom Wert des Signal-Rausch-Abstandes über den gesamten abgebildeten Bereich bei hohem Störschallpegel besser ist als bei niedrigem.

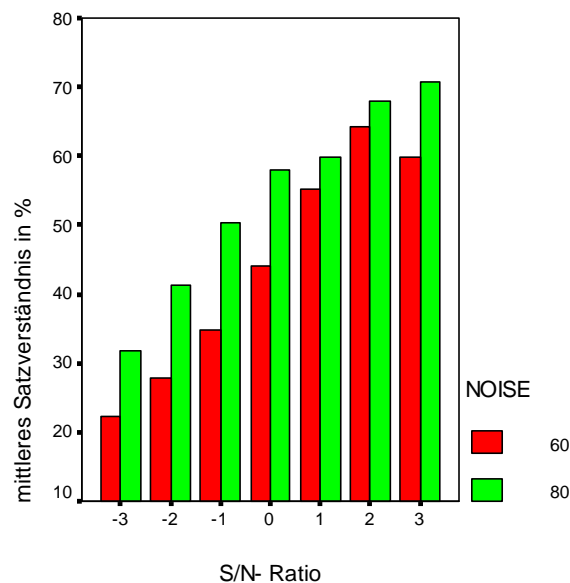


Abb. 6: Sprachverständnis in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Abstand

3.3 Analyse möglicher Störfaktoren

3.3.1 Kein wesentlicher Einfluss des individuellen Antwortverhaltens

Um Einflüsse des Antwortverhaltens auf das Testergebnis zu untersuchen, wurden die Probanden in folgende Gruppen eingeteilt:

Gruppe 1: „zurückhaltend“, N = 12 Probanden

Gruppe 2: „mittel“, N = 10 Probanden

Gruppe 3: „forsch“, N = 8 Probanden.

Tabelle 2 zeigt die Anzahl der gemessenen Sätze, die kleinste, größte und mittlere SRT, den mittleren Verständniszuwachs, die mittlere S/N-Ratio, deren Standardabweichung sowie die Spannweite für die drei Gruppen.

Tab. 2: Eigenschaften der Gruppen eingeteilt nach ihrem Antwortverhalten

ANTWORTVERHALTEN	ZURÜCKHALTEND	MITTEL	FORSCH
Anzahl der Sätze	1020	820	640
SRT min [dB]	0	0	0
SRT max [dB]	1	1	0
mittlere SRT [dB]	0	0	0
mittlerer Verständniszuwachs [%/dB]	6	5	6
mittlere S/N-Ratio	0	0	0
Standardabweichung der S/N-Ratio	2,5	2,6	2,2
Spannweite der S/N-Ratio	16	16	13

Es fällt auf, dass Probanden mit forschem Antwortverhalten bezüglich der S/N-Ratio die kleinste Spannweite und Standardabweichung und damit die geringste Streuung der Messwerte um den Mittelwert zeigen. Zwischen Probanden mit mittlerem und zurückhaltendem Antwortverhalten lassen sich keine wesentlichen Unterschiede im Sprachverständnis feststellen.

Abbildung 7 stellt das relative Wortverständnis in Abhängigkeit von der S/N-Ratio sowie die 95%-Konfidenzintervalle für unterschiedliches Antwortverhalten dar. Hierin zeigen Probanden mit forschem Antwortverhalten eine geringfügig niedrigere SRT als die Probanden der anderen Gruppen. Da die Punkte fünfzigprozentigen Sprachverständnisses der Regressionsgeraden der zurückhaltenden und der mittleren

Gruppe innerhalb der Konfidenzintervalle der forschen Gruppe liegen, sind Unterschiede der Sprachverständlichkeitsschwelle zwischen den Gruppen nicht signifikant. Dies bestätigt eine ONEWAY- ANOVA, die einen p-Wert $> 0,05$ ergibt. Die Unterschiede sind auch dann nicht signifikant, wenn extreme Ausreißer von den Berechnungen ausgeschlossen werden.

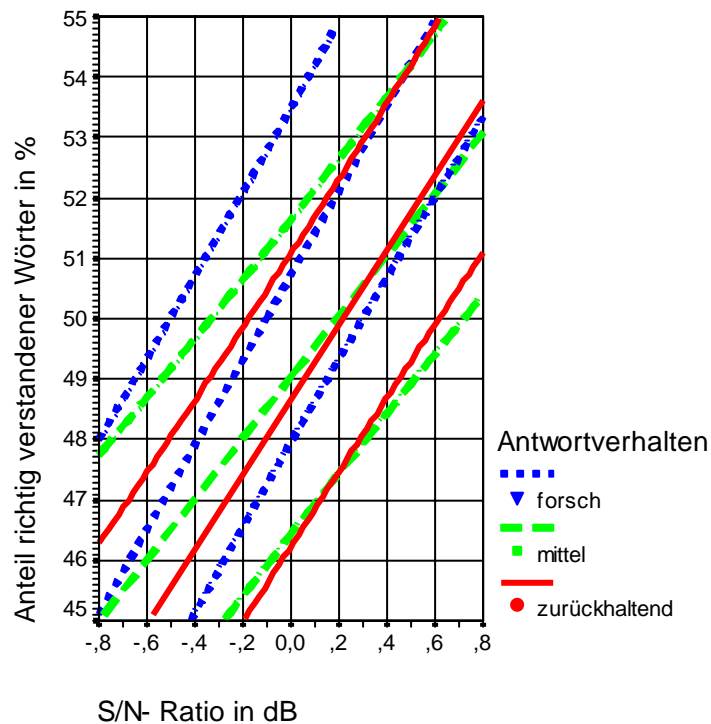


Abb. 7: Wortverständnis nach Einteilung des Antwortverhaltens

3.3.2 Sprachverständnis unabhängig von der Satzgruppenposition

Da während der Prüfung bei einigen Probanden ein über die Testgruppen hinausgehender Lerneffekt vermutet werden konnte, wurde der Einfluss der Satzgruppenposition untersucht. Wie im Versuchsablauf festgelegt, wurden die ersten beiden Satzgruppen bei 60 dB, die letzten beiden bei 80 dB Störschall gemessen. Bei vier Probanden wurde jedoch aus obengenannten Gründen eine zusätzliche Satzgruppe bei 60 dB gemessen (Position 3a). Für diese Probanden existiert daher eine fünfte Position, die der regulären Position 4 entspricht. Satzgruppen, die ordnungsgemäß an

dritter Stelle bei 80 dB Störschall gemessen wurden, kennzeichnet Position 3b. Somit wurden die Positionen 1, 2 und 3a bei 60 dB, 3b, 4 und 5 bei 80 dB Störschall gemessen. Da, wie in 3.2 berechnet, das relative Verständnis bei 80 dB Störschall besser ist, macht lediglich ein Vergleich der Positionen einen Sinn, die bei gleichem Störschall gemessen wurden. Abbildungen 9 und 10 zeigen das Sprachverständnis für die Satzgruppenpositionen beider Störschallpegel.

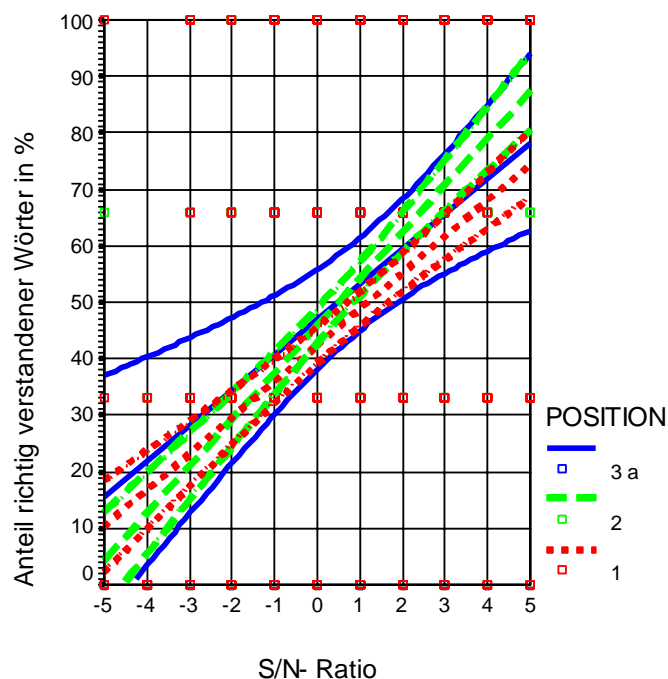


Abb. 9: Vergleich der Satzgruppenpositionen gemessen bei 60 dB Störschall

Es ist zu beachten, dass sowohl Position 3a als auch Position 5 jeweils nur 80 Sätze umfassen. Die Positionen 1, 2 und 4 enthalten je 600, Position 3b 520 Sätze. Dadurch sind die Standardabweichung und die Streuung der Konfidenzintervalle um die Regressionsgeraden für Positionen 3a und 5 größer. Es zeigt sich für Satzgruppen der zweiten Position ein geringfügig besseres Sprachverständnis als für Satzgruppen an erster Stelle. Für die Positionen 2 und 3a ist abgesehen von der weiteren Streuung bei Position 3a kein Unterschied erkennbar.

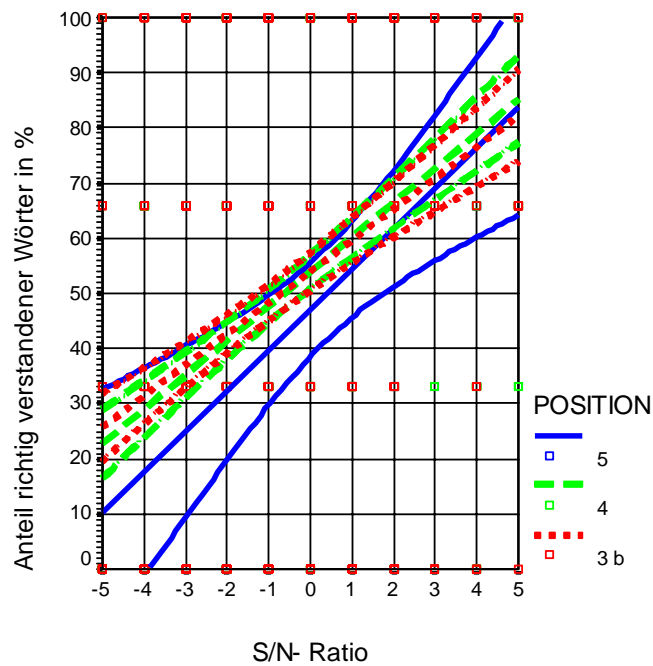


Abb. 10: Vergleich der Satzgruppenpositionen gemessen bei 80 dB Störschall

Gleiches gilt für die Positionen 3b und 4. Für Satzgruppen, die an letzter Stelle gemessen wurden, fällt ein leichter Abfall des Sprachverständnisses auf. Da sich die Konfidenzintervalle der Regressionsgeraden aller Satzgruppen in beiden Abbildungen überlappen, sind diese Unterschiede jedoch nicht signifikant. Damit hat die Position der Satzgruppe keine wesentliche Auswirkung auf das Sprachverständnis im Bereich der SRT.

4. Diskussion

4.1 Sprachverständnis in Abhängigkeit vom Störschallpegel

Die Hauptcharakteristiken der Diskriminationsfunktion sind das Gesamtverständnis, der Verständniszuwachs und die Sprachverständlichkeitsschwelle. Sie sollen im Folgenden besprochen werden.

4.1.1 Gesamtverständnis

Die getrennte Betrachtung der Ergebnisse bei 60 und 80 dB Störschall zeigte für den Bereich des kritischen Signal-Rausch-Abstandes ein besseres Sprachverstehen bei 80 dB Störschall. Hier ist ein geringerer Sprachschallpegel zum fünfzigprozentigen Sprachverständnis erforderlich. Außerdem ist bei gleichem Signal-Rausch-Abstand das prozentuale Verständnis höher.

Die folgenden Autoren bestätigen die Beobachtung besseren Sprachverstehens bei höheren Störschallpegeln. Untersuchungen von Delle [9] bei 80 dB Störlärm ergaben eine durchschnittliche Verständnisquote von 56,4 % gegenüber 49,3 % bei 60 dB. Ähnliche Ergebnisse wurden mit dem Innsbrucker Satztest in der HSM-Edition erzielt, dessen Sprachmaterial dem des HSM-Tests entspricht [36]. Delle unternahm ihre Messungen im Freifeld an einem vergleichbaren Kollektiv, wobei die Signal-Rausch-Abstände für jeden Probanden konstant gehalten wurden. Bei Hörgeräteträgern ist der Verständnisgewinn bei lauterem Störlärm noch stärker ausgeprägt [47, 49].

Dem stehen Untersuchungen von Schulze-Thüsing [32] entgegen, der mit dem Marburger Satztest bei Normalhörenden für 80 dB ein signifikant schlechteres Satzverständnis gegenüber 60 dB Störschall beobachtet hat. Die Mittelwerte des Gesamtverständnisses bei beiden Störschallpegeln unterschieden sich jedoch nur geringfügig voneinander (226,1 % bei 60 dB, 223,5 % bei 80 dB). Im Gegensatz zu den anderen genannten Untersuchungen, unterbrach er den Störschall zwischen den Sätzen

nicht, so dass die Versuchspersonen über die gesamte Dauer des Prüfungsvorgangs dem Lärm ausgesetzt waren. Dies kann zu Adaptation geführt haben.

Anders als in den besprochenen Arbeiten wurden in dieser Studie zwischen beiden Ohren wechselnde (binaural alternierende) Sprachsignale verwendet. Sie wurden im Rahmen der zentralen Hördiagnostik entwickelt, um bei Schäden der Hörbahn zwischen Hirnstamm- und Hirnrindenschäden unterscheiden zu können. Bei Wechselfrequenzen von 20/s, wie sie in diesem Versuchsaufbau verwendet wurden, können Normalhörende in Ruhe eine hundertprozentige Satzverständlichkeit erreichen [1,23]. Das Sprachverständnis nimmt in Abhängigkeit von der Wechselfrequenz bis zur kritischen Rate von 3-4/s ab. Bei höheren Wechselfrequenzen steigt es jedoch wieder an. Dabei wird das Verständnis weniger durch die Wechselfrequenz als durch den mittleren Sprachgehalt pro Segment beeinträchtigt. Somit sind die Verständniskurven für Messungen unterschiedlicher Sprachgeschwindigkeiten gegeneinander verschoben [48]. Vergleichbare Messungen im Störlärm liegen nicht vor, da dieser für die ursprüngliche Fragestellung nicht benötigt wurde. Es ist jedoch anzunehmen, dass das Verstehen binaural alternierender ebenso wie das kontinuierlich dargebotener Sprache im Störlärm erschwert ist.

Ebenfalls für ein besseres Verständnis bei höheren Störschallpegeln spricht die Beobachtung von Zwicker [50, 51], nach der Normalhörende im Störlärm ein dreimal besseres Zeitauflösungsvermögen als in Ruhe haben. Bis zu welchen Schalldruckpegeln dies gültig ist, wurde allerdings nicht beschrieben.

4.1.2 Verständniszuwachs

Bei der Darstellung des Sprachverständnisses in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Abstand fällt auf, dass das 95 %-Konfidenzintervall insbesondere im Bereich 40- 60 %igen Sprachverständnisses kaum von der Regressionsgeraden abweicht. Dies gilt sowohl für die Gesamtdarstellung als auch für die getrennte Betrachtung der Messungen bei 60 und 80 dB und spricht für die Qualität des Testmaterials. Was die Steilheit der gemittelten Sprachverständlichkeitskurven angeht, ist zu beachten, dass sie durch die Mittelung der Daten tendenziell eine geringere Steigung vortäuschen, da die

Einzelkurven gegeneinander verschoben sind. Es ergibt sich eine flacher verlaufende Funktion, die den gesamten Dynamikbereich aller Einzelkurven abdeckt [20]. Um Verfälschungen auszuschließen, ist eine getrennte Betrachtung für 60 und 80 dB Störschall sinnvoll. Während die Regressionsgerade für 60 dB eine größere Steigung aufweist, ist die Gerade für 80 dB zu höheren Sprachverständnisquoten verschoben. Für Messungen bei 60 dB ergibt sich im Bereich der Sprachverständlichkeitsschwelle ein mittlerer Verständniszuwachs pro dB Abstandsverringerng von 7 %, bei 80 dB sind es 6 %.

Der mittlere Verständniszuwachs wird von vielen Faktoren beeinflusst: Als Erstes ist hier das Testmaterial zu nennen. So weisen Satztests gegenüber Wörtertests einen signifikant steileren Verständniszuwachs im Bereich der SRT auf [20]. Aber auch innerhalb der Satztests gibt es in Abhängigkeit von Informationsgehalt und Redundanz große Differenzen [22]. Weiterhin wirken sich Darbietung im Störgeräusch sowie eine Schwerhörigkeit je nach Ursache und Ausprägung auf den Verständniszuwachs aus. In dieser Arbeit wurde der Verständniszuwachs im Bereich mittleren Satzverständnisses untersucht. Daher sind Vergleiche mit anderen Bereichen der Diskriminationsfunktion nicht möglich.

Dem hier verwendeten Versuchsaufbau kommen die Untersuchungen von Grebe [16] und Strohmaier [36] am nächsten. Bei Grebe erzielten Normalhörende um 50 Jahre für Messungen bei 60 dB Störschall einen mittleren Verständniszuwachs von 6,6 %/ dB Abstandsverringerng. Für 80 dB Störlärm lag dieser Wert bei 6,5 %. Strohmaier konnte bei normalhörenden jungen Erwachsenen einen Verständniszuwachs pro dB Abstandsverringerng von 10 % für 60 dB Störschall und 6,8 % für 80 dB Störschall nachweisen. Beide verwendeten als Testmaterial den HSM-Test bzw. den Innsbrucker Satztest in der HSM-Edition. Anders als in dieser Studie führten sie ihre Untersuchungen jedoch im Freifeld durch und verwendeten keine binaural alternierenden Sprachsignale.

Für den Marburger Satztest beträgt der Verständniszuwachs im Bereich 50- 90 %igen Satzverständnisses 8 %/ dB [32]. Ein ähnlich strukturierter niederländischer Test weist im Bereich der SRT bei 50 dB Störschall einen mittleren Verständniszuwachs von 15 %/ dB auf [29].

Unter Berücksichtigung der methodischen Differenzen sind die in dieser Arbeit berechneten mittleren Verständniszuwachsrate dem, was andere Autoren mit dem gleichen Test an Normalhörenden fanden, sehr ähnlich. Auch die Ergebnisse anderer Satztests lassen, soweit angegeben, im Bereich der SRT eine generelle Tendenz zu größerem Verständniszuwachs bei leiseren Störschallpegeln erkennen.

4.1.3 Sprachverständlichkeitsschwelle

Die Sprachverständlichkeitsschwelle (SRT) ist in der Audiometrie von besonderem Interesse, weil sie den Bereich des kritischen Signal-Rausch-Abstands beschreibt, in dem die Diskriminationskurve am steilsten und somit am sensitivsten ist. Da die SRT in Ruhe für Normalhörende gut mit den Tonschwellen der Frequenzen von Sprache (500- 2000 Hz) korreliert, eignet sie sich in hervorragender Weise zur Überprüfung des Reintonaudiogramms. Dieser Zusammenhang gilt jedoch im Störgeräusch insbesondere für Schwerhörige nicht mehr [4], so dass auf ihre Bestimmung im Rahmen der Diagnostik nicht verzichtet werden sollte. Die praktische Interpretation der SRT für Wörter ist jedoch insofern problematisch, als bei fünfzigprozentigem Wortverständnis keine sinnvolle Kommunikation möglich ist. Vielmehr wird für diese Zwecke ein achtzigprozentiges Sprachverständnis benötigt [7, 34]. Dies erreicht man dann, wenn zur Ermittlung der SRT statt des Verständnisses einzelner Wörter die korrekte Wiedergabe kompletter Sätze gewertet wird [44], d.h. die Beurteilung des Sprachverständnisses lediglich auf die Kategorien „alles verstanden“ bzw. „nichts verstanden“ beschränkt wird. Damit ist die SRT für Sätze besser geeignet, Aussagen zur tatsächlichen Kommunikationsfähigkeit zu machen. Die Vergleichbarkeit ermittelter Sprachverständlichkeitsschwellen hängt jedoch davon ab, ob das Verstehen von Silben, Wörtern oder Sätzen gewertet wird.

Die mittlere SRT des Kollektivs dieser Arbeit liegt bei 0 dB S/N. Bei 60 dB Störlärm ist zum fünfzigprozentigen Sprachverständnis ein um 1 dB höherer Sprachschallpegel nötig. Für 80 dB Störschall reicht ein 1 dB leiserer Sprachschallpegel aus (SRT= -1 dB). Die Differenz der SRT bei beiden Störschallpegeln beträgt also 2 dB.

Für den gleichen Satztest berichtet Grebe über eine SRT von -9,1 dB S/N bei 60 dB und -8,6 dB S/N bei 80 dB Störlärm [16]. Dies erscheint auf den ersten Blick nicht vereinbar mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie. Es ist jedoch zu beachten, dass, wie bereits unter 4.1.2 beschrieben, erhebliche Unterschiede in der Methodik bestehen.

Untersuchungen mit dem Marburger Satztest [32] ergaben Sprachverständlichkeitsschwellen von -5,7 dB S/N für 60 dB und -4,8 dB S/N für 80 dB. Die SRT wurde anhand der Anzahl korrekt wiederholter Wörter berechnet. Wurden jedoch komplette Sätze als Berechnungsgrundlage herangezogen, lag die SRT für 60 dB Störgeräusch bei -12 dB S/N [43].

Plomp und Mimpen [29] fanden in Untersuchungen mit einem niederländischen Satztest eine SRT von -7,3 dB S/N. Sie verwendeten dazu ein sprachbewertendes amplitudenmodulierendes Rauschen, sowie ein dem Marburger Satztest ähnliches Sprachmaterial.

Wird Sprache z.B. durch Beschleunigung der Präsentationsgeschwindigkeit oder Steigerung der Verhallung verändert, sind höhere Sprachschallpegel zu fünfzigprozentigem Verständnis erforderlich. So liegt die SRT bei monauraler Darbietung verzerrter Sprache des englischen (speech perception in noise) SPIN-Tests für Normalhörende bei 8 dB S/N. Der SPIN-Test ist ähnlich wie der Baseler Satztest aufgebaut und bewertet lediglich das Verständnis eines Schlüsselwortes am Satzende, welches in unterschiedlichem Maße aus dem Satzzusammenhang vorhersagbar ist. Der Sprachschallpegel der Versuchsanordnung betrug 90 dB. Es wurden fünf verschiedene Signal-Rausch-Abstände untersucht [15]. Ein anderer Verzerrungsmodus mit einem weiteren niederländischen Sprachtest zeigte für Normalhörende eine SRT von -0,8 dB S/N [31].

Ein direkter Vergleich dieser Studien ist problematisch, da die SRT vom Satzmaterial abhängig ist [20]. Weiterhin wurden die Sprachsignale nicht einheitlich angeboten und unterschiedliche Elemente zur Berechnung der SRT herangezogen.

Betrachtet man jedoch anstelle der absoluten Werte die Differenzen bei unterschiedlichen Störschallpegeln, so fällt auf, dass die SRT in allen Studien bei höheren Störschallpegeln niedriger ist. In Zusammenhang mit der in 4.1.1 gemachten Beobachtung höheren Gesamtverständnisses bei lauterem Störlärm lässt sich eindeutig eine Tendenz zu besserem Sprachverstehen bei höheren Störschallpegeln nachweisen.

Die binaural alternierende Darbietung des HSM-Tests bestätigt diesen bereits in anderen Versuchsanordnungen beobachteten Trend. Es ist daher unwahrscheinlich, dass es sich hierbei lediglich um ein Charakteristikum des Versuchsaufbaus handelt. Gleiches gilt für das Probandenkollektiv, da Untersuchungen von Höreräteträgern und Normalhörenden anderer Altersstufen ebenfalls in diese Richtung weisen. Um herauszufinden, ob diese Tendenz eine Besonderheit des HSM-Tests ist, oder ebenso für andere Sprachtests zutrifft, sollte das Verständnis anderer Tests bei diesen Störschallpegeln untersucht werden. Weiterhin wären Messungen bei niedrigeren und höheren Störschallpegeln zur Überprüfung dieser Hypothese wünschenswert. Dieser auf den ersten Blick paradox erscheinende Zusammenhang könnte dadurch erklärt werden, dass lauter Störlärm zu einer höheren, auf den Empfang sprachlicher Signale gerichteten Konzentration zwingt.

4.2 Einfluss möglicher Störfaktoren

4.2.1 Zum Einfluss des Antwortverhaltens

Die Frage, inwiefern Persönlichkeitsmerkmale, Antwortstrategien oder Bildungsniveaus das Ergebnis audiometrischer Tests beeinflussen, wurde mehrfach untersucht. Es sollte geklärt werden, ob insbesondere Satztests nicht primär das Sprachverstehen, sondern höhere kognitive Funktionen wie Intelligenz oder Aufmerksamkeit messen.

Für die Reintonaudiometrie fand Smith 1968 bei normalhörenden Männern signifikant niedrigere Hörschwellen für introvertierte als für extrovertierte Probanden [35]. Im Hinblick auf die Beständigkeit tonaudiometrischen Antwortverhaltens kommt diesen Merkmalen jedoch keine Bedeutung zu [13]. Marshall zufolge wird die Aussagekraft dieser Untersuchung weder durch Alter noch durch Hörverlust beeinträchtigt [24].

Da es sich in der Sprachaudiometrie um wesentlich vielschichtiger Reize und damit komplexere Verarbeitungsprozesse handelt, sind die Ergebnisse der Tonaudiometrie hierauf nicht generell übertragbar. Beim Verstehen von Sprache kommt

es weniger auf die korrekte Identifikation jedes einzelnen Lautes als auf die Kombination der Gesamtlautfolge mit anschließendem Ausschluss aus der Menge ähnlich klingender Wörter an. Ferner können akustisch nicht verstandene Wörter aus dem Zusammenhang erschlossen werden. Daher spielen bei der Spracherkennung der Umfang des verfügbaren Wortschatzes sowie Kenntnisse der Grammatik und Semantik einer Sprache eine bedeutende Rolle.

So untersuchten v. Werra, Tschopp und Schneider [45] den Einfluss der linguistischen Kompetenz auf die sprachaudiometrischen Ergebnisse des Baseler Satztests. Sie ermittelten die sprachliche Fähigkeit ihrer normalhörenden Probanden anhand des Schulabschlusses und des Intelligenzquotienten, basierend auf der reduzierten Form des Hamburg-Wechsler-Intelligenztests. Es zeigte sich bei höherer Schulbildung und zunehmendem IQ-Wert ein geringes, wenn auch signifikant besseres, Verständnis leicht vorherzusagender Zielwörter. Die Sprachverständlichkeit schwer vorherzusagender Zielwörter wurde von diesen Merkmalen nicht beeinflusst. Trotz der statistischen Signifikanz ihrer Ergebnisse, empfahlen die Autoren keine Berücksichtigung dieser Faktoren bei der klinischen Interpretation audiometrischer Resultate.

Untersuchungen mit dem englischsprachigen SPIN-Test kamen zu dem Ergebnis, dass die Fähigkeit Satzzusammenhänge für die Verständlichkeit des Zielwortes zu nutzen unabhängig vom Alter des Probanden ist [19].

Für unterbrochene Sprachsignale konnte Calero eine eindeutige Korrelation des Sprachverständnisses mit dem Intelligenzquotienten seiner Versuchspersonen nachweisen [8]. Dem stehen Untersuchungen von Eckel [11] gegenüber, der keinen Zusammenhang zwischen IQ und zeitlichem Schwellenwert für die Verständlichkeit von Sprachsignalen fand. Da Calero kaum Informationen über den Versuchsaufbau und die Methodik gibt, ist ein näherer Vergleich zur Klärung dieser Differenzen nicht möglich.

Insgesamt stimmen die Ergebnisse dieser Arbeit mit denen der oben beschriebenen Studien weitgehend überein. Da das Probandenkollektiv dieser Untersuchung bezüglich Alter und Schulbildung sehr homogen ist, kann eine Auswirkung dieser Faktoren auf das Sprachverständnis nicht Gegenstand der Fragestellung sein. Vielmehr ist anzunehmen, dass die diesbezüglichen Unterschiede

innerhalb des Kollektivs zu vernachlässigen sind, so dass allein der Einfluss des Antwortverhaltens auf das Testergebnis geprüft wurde. Weiterhin ist zu beachten, dass ein forsches oder zurückhaltendes Antwortverhalten keineswegs mit einer extrovertierten bzw. introvertierten Persönlichkeit gleichzusetzen ist. Die Einteilung des Antwortverhaltens erfolgte ohne zusätzliche Untersuchungen allein nach den in 2.5 genannten Kriterien. Sie beruht somit auf den Beobachtungen der Prüferin, die sich jedoch in den meisten Fällen mit einer Selbsteinschätzung der Probanden deckten.

Probanden mit forschem Antwortverhalten zeigten bezüglich der S/N-Ratio sowohl die kleinste Spannweite als auch die geringste Standardabweichung und damit die kleinste Streuung der Messwerte um den Mittelwert. Dies ist damit zu erklären, dass Versuchspersonen dieser Gruppe dazu neigten auch bei unsicherem bzw. bruchstückhaftem Satzverständnis ihre Lösung mit Hilfe von Füllwörtern in Form von vollständigen Sätzen darzubieten. Mit zunehmendem Umfang laut wiederholten Wortmaterials steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass sich hierunter tatsächlich präsentierte Elemente befinden, die als besseres Sprachverständnis gewertet werden.

Die Ergebnisse der Probanden mit mittlerem Antwortverhalten sind denen mit zurückhaltendem sehr ähnlich. Zwischen beiden Gruppen lassen sich keine wesentlichen Differenzen feststellen.

Zwar lässt forsches Antwortverhalten eine leichte Tendenz zu besser bewertetem Sprachverständnis vermuten, ein eindeutiger Zusammenhang kann mit dieser Stichprobe aber nicht nachgewiesen werden. Für eine genauere Untersuchung wären Studien mit einer größeren Probandenzahl erforderlich. Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass das Antwortverhalten die sprachaudiometrische Untersuchung mit dem HSM-Satztest nur sehr geringfügig beeinflusst. Eine Bezugnahme in der Praxis erscheint nicht erforderlich.

4.2.2 Zum Einfluss der Satzgruppenposition

Es stellte sich die Frage, ob im Verlauf der sprachaudiometrischen Untersuchung ein über die Testgruppen hinaus gehender Lern- bzw. Gewöhnungseffekt existiert. Daher wurde das Sprachverständnis in Abhängigkeit von der Satzgruppenposition

untersucht. Es zeigte sich für Satzgruppen der zweiten Position ein geringfügig besseres Sprachverständnis als für die ersten Satzgruppen. Die beobachteten Differenzen sind jedoch so minimal, dass nicht von einem Trainingseffekt gesprochen werden kann. Vielmehr bezeugen die geringen Unterschiede zwischen den beiden ersten Positionen, dass zwei Testgruppen, die nicht in die Wertung einbezogen wurden, für eine Gewöhnung des Probanden an das Testmaterial und die Testsituation ausreichen. Einen Lerneffekt im Sinne einer Wiedererkennung von Sprachmaterial konnte nicht eintreten, da jedem Probanden vier verschiedene Satzgruppen präsentiert wurden und kein Satz im HSM-Test doppelt verwendet wird.

Vergleicht man das Satzverständnis der Positionen 4 und 5, so fällt ein etwas schlechteres Verständnis der letzten Satzgruppe auf. Dies könnte für ein Nachlassen der Konzentration der Versuchspersonen sprechen. Hinzu kommt, dass die Messungen bei 80 dB Störschall von einem Großteil der Probanden als anstrengend empfunden wurden. Andererseits war die Motivation der Probanden hoch und eine Prüfdauer von 30 min erscheint für junge Erwachsene eine durchaus vertretbare Zeitspanne. Eine kurze Pause nach der Hälfte der Messungen wurde von der Prüferin angeboten, jedoch von keinem Probanden gewünscht. Da eine fünfte Position lediglich bei vier Probanden existierte und die Werte somit stark streuen, kann ein schlechteres Verständnis der fünften Position bei diesem Kollektiv nicht nachgewiesen werden. Damit ist das Sprachverständnis für die gesamte Dauer dieser Untersuchung unabhängig von der Position der Satzgruppe.

4.3 Fehlermöglichkeiten und Ausblick

Eine mögliche Fehlerquelle dieses Versuchsaufbaus ist der Sitz der Einsteck-Hörer. Zwar standen entsprechend den unterschiedlichen Gehörgangsweiten der Versuchspersonen leicht verformbare Schaumstoff-Einsteck-Hörer mehrerer Größen zur Verfügung und ihr einwandfreier Sitz wurde zu Beginn der Messungen kontrolliert, dennoch ist es nicht auszuschließen, dass diese im Verlauf der Untersuchung unbemerkt verrutschten. Es ist denkbar, dass hierdurch für einige Messungen der Sprachschallpegel zu hoch gewählt wurde. Stellte ein Proband einen mangelhaften Sitz eines Einsteck-

Hörers fest, wurde dieser sogleich korrigiert. Da jedoch in der Regel keine Probleme mit der Handhabung der Einsteck-Hörer auftraten, ist hierdurch eine systematische Beeinflussung der Versuchsergebnisse unwahrscheinlich.

In dieser Arbeit wurden vier Satzgruppen pro Proband gemessen. Diese Zahl erschien erforderlich, um eine ausreichend genaue Beschreibung des Sprachverständnisses der Versuchspersonen im Sinne einer Referenzmessung geben zu können. Für die klinische Anwendung des HSM-Tests reichen je nach Fragestellung ein bis zwei Satzgruppen aus. So ändern sich die Ergebnisse dieser Arbeit nicht, wenn nur jeweils eine Satzgruppe pro Störschallpegel in die Berechnungen einfließt. Lediglich die Signifikanz nimmt ab.

Die Voraussetzung der Muttersprache Deutsch für die Teilnahme an den Versuchen hat folgende Gründe: Zwar konnte Pazdzierniak [27] zeigen, dass die Bewertung des Hörvermögens mit dem Freiburger Einsilber Test auch für Ausländer ohne deutsche Sprachkenntnisse möglich ist. Da hierbei das Sprachmaterial jedoch als Logatomtest eingesetzt wurde, im dem das Nachsprechen sinnloser Silben gemessen wird, ist eine Übertragung dieser Ergebnisse auf Satztests nicht möglich.

Die vorliegende Arbeit zeigt für den Bereich der Sprachverständlichkeitsschwelle ein signifikant besseres Sprachverstehen bei 80 dB Störschall. Hier war sowohl das prozentuale Sprachverständnis bei gleichem Signal-Rausch-Abstand höher als auch ein geringerer Sprachschallpegel zum fünfzigprozentigen Sprachverständnis erforderlich. Damit bestätigen die Befunde mit zwischen den Ohren wechselnder Sprachdarbietung diesen bereits mit anderen Versuchsanordnungen und Probandenkollektiven beobachteten Trend. Zur Klärung, ob besseres Sprachverstehen bei lauterem Störlärm eine Eigenart des HSM-Satztests oder eher Folge einer gesteigerten Konzentration des Probanden ist, sind weitere Untersuchungen erforderlich. Diese sollten insbesondere andere Satztests sowie niedrigere und höhere Störschallpegel einschließen. Weiterhin wären begleitende Messungen der Aufmerksamkeit der Versuchspersonen sinnvoll. Um die leichte, wenn auch nicht signifikante Tendenz zu besser bewertetem Sprachverständnis von Personen mit forschem Antwortverhalten näher zu untersuchen, wären sowohl ein größeres Probandenkollektiv als auch weiter entwickelte und

quantifizierbare Einteilungskriterien dieses Merkmals notwendig. Insgesamt erweist sich der HSM-Test als robustes Untersuchungsverfahren zum Sprachverstehen im Störlärm, welches durch Störfaktoren wie das individuelle Antwortverhalten und die Position der Satzgruppe nicht wesentlich beeinflusst wird. Die hiermit gewonnenen Daten können als Referenzwerte für zukünftige klinische Untersuchungen an Hörgeschädigten dienen.

5. Zusammenfassung

Sprachaudiometrische Untersuchungen sind Voraussetzung für die korrekte Verordnung und Anpassung von Hörgeräten und Cochlea-Implantaten sowie der arbeitsmedizinischen Begutachtung von Minderungen der Erwerbsfähigkeit. Um das Kommunikationsvermögen im lärmbelasteten Alltag zu prüfen, eignen sich Sprachverständlichkeitsmessungen im Störschall.

In dieser Arbeit sollten mit dem HSM-Satztest Normwerte zum Sprachverstehen im Störlärm an jungen Erwachsenen für Messungen an Hörgeschädigten ermittelt werden. Junge Erwachsene sind i.d.R. maximal konzentrations- und leistungsfähig sowie normal hörend. Ferner wurde überprüft, inwiefern sich das individuelle Antwortverhalten der Probanden und die Position der Satzgruppe auf das Sprachverstehen auswirken.

Dreißig Probanden beiderlei Geschlechts im Alter von 20 bis 29 Jahren wurden zwischen beiden Ohren wechselnd digital aufgezeichnete, sinnvolle Sätze in Störschallpegeln von 60 und 80 dB dargeboten.

Die getrennte Betrachtung der Ergebnisse bei 60 und 80 dB Störschall zeigte für den Bereich der Sprachverständlichkeitsschwelle ein signifikant besseres Sprachverstehen bei 80 dB Störschall. Hier war ein geringerer Sprachschallpegel zum fünfzigprozentigen Sprachverständnis erforderlich. Außerdem war bei gleichem Signal-Rausch-Abstand das prozentuale Verständnis höher. Die Befunde mit der binaural alternierenden Darbietung des HSM-Tests bestätigen entsprechende Vermutungen früherer Untersuchungen von Hörgeräteträgern und älteren Normalhörenden. Daher wurde nicht ein Artefakt des hier verwendeten Versuchsaufbaus gemessen. Forshes Antwortverhalten zeigte eine leichte, jedoch nicht signifikante Tendenz zu besser bewertetem Sprachverständnis. Unterschiede im Sprachverständnis in Abhängigkeit von der Position der Satzgruppe konnten nicht festgestellt werden.

Die Definition der Norm mit diesem Testansatz, der Alltagsbedingungen im Labor simuliert, ist eine wesentliche Voraussetzung für präzise Diagnostik von Hörstörungen und ihre optimierte Behandlung.

Summary

Speech audiometric examinations are a prerequisite in order to correctly prescribe and fit hearing aids and cochlea implants as well as to assess diminished hearing power in industrial medicine. Speech audiometric tests in background noise allow to examine the ability to communicate in a noisy environment of everyday life.

The HSM-test for sentence understanding was employed to standardize the hearing in background noise of young adults. Generally young adults are able to concentrate well and hear normally. These results should be the baseline for future applications of the HSM-test to hearing-impaired persons. Another objective was to examine whether the responding pattern of a person and the position of the sentence group within the entire test influence the comprehension of speech.

Thirty test persons of both sexes between 20 and 29 years old were presented digitally recorded coherent sentences. These were offered to the right and to the left ear in background noise levels of 60 or 80 dB.

Speech discrimination near the speech reception threshold was significantly better at a background noise level of 80 dB than at 60 dB. At 80 dB a lower speech sound level was needed to understand 50% of the speech presented. Moreover the percentage of correctly understood speech was the same in a higher signal-to-noise ratio. These findings with the binaurally alternating application of the HSM-test confirm earlier results obtained with hearing-impaired and older persons of normal hearing. This confirms, that the observed differences at both noise levels are not an artefact of the experimental set-up. Boldly responding persons could comprehend speech slightly better, but this difference was not significant. The position of the sentence group within the test did not influence its comprehension.

The HSM-test simulates situations of everyday life in the laboratory. The results obtained help to define precise standards for this test essential for diagnostics of hearing disorders and their optimum treatment.

Literatur

- [1] Antonelli AR, Bellotto R, Grandori F (1987): Audiologic diagnosis of central versus eighth nerve and cochlear auditory impairment
Audiology 26 (4), p. 209-26
- [2] Bangert H (1980): Probleme bei der Ermittlung des Diskriminationsverlustes nach dem Freiburger Sprachtest
Audiol. Akustik 19, p. 166-170
- [3] Berghaus A, Rettinger G, Böhme G: Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Duale Reihe, 1996
- [4] Bocca E, Pellegrini A (1951): Studies on the perception of the distorted voice
Acta Otolaryngologica 58, p. 473-84
- [5] Bocca E, Calearo C (1963): Central hearing processes
aus: Modern developments in audiology, Jerger J, Academic Press, 1. Auflage 1963
- [6] Bosmann A: Review of Speech Audiometric Tests
aus: Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie, Kollmeier B (Hrsg), Buchreihe Audiologische Akustik, Median Verlag 1992
- [7] Brand T, Kollmeier B (2002): Efficient adaptive procedures for threshold and concurrent slope estimates for psychophysics and speech intelligibility tests
J Acoust Soc Am 111 (6), p. 2801-10
- [8] Calearo C (1975) : Epreuves verbales de l' audition centrale
Audiology (14), p. 300-11
- [9] Delle DD (2002): Sprachverstehen im Störlärm von 60 und 80 dB gemessen mit dem HSM-Satztest bei normalhörenden Erwachsenen zur Untersuchung der Ausgewogenheit der Satzgruppen
Medizinische Dissertation Würzburg
- [10] Dillier N, Spillmann T: Deutsche Version der Minimal Auditory Capability (MAC)-Test-Batterie: Anwendungen bei Hörgeräte- und CI-Trägern mit und ohne Störlärm
aus: Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie, Kollmeier B (Hrsg), Buchreihe Audiologische Akustik, Median Verlag 1992
- [11] Eckel K (1985): Tachistophonie, eine Meßmethode für eine Zeitschwelle beim Hören
HNO 33 (1), p. 30-5

- [12] Erik et al. (1998): Speech discrimination in the sensorineural hearing loss patient: How is it affected by background noise?
Military Medicine 163, p. 647-50
- [13] Farley F, Kumar K (1969): Personality and audiometric response consistency
Journal of Auditory Research 9 (2), p. 108-11
- [14] Fastl H (1987): Ein Störgeräusch für die Sprachaudiometrie
Audiol. Akustik 26, p. 2-13
- [15] Gordon-Salant S, Fitzgibbons PJ (1995): Comparing recognition of distorted speech using an equivalent signal-to-noise ratio index
Journal of speech and hearing research 38, p.706-13
- [16] Grebe HP (2001): Untersuchungen mit dem HSM-Satztest zum Sprachverständnis im Lärm bei Normalhörenden um 50 Jahre
Medizinische Dissertation Würzburg
- [17] Harris RW, Swenson DW (1990): Effects of reverberation and noise on speech recognition by adults with various amounts of sensorineural hearing impairment
Audiology 29 (6), p. 314-21
- [18] Hochmair-Desoyer I, Schulz E, Moser L, Schmidt M (1997): The HSM sentence test as a tool for evaluating the speech understanding in noise of cochlear implant users
Am J Otol 18 (suppl), p. 83
- [19] Hutchinson KM (1989): Influence of sentence context on speech perception in young and older adults
Journal of Gerontology: Psychological Sciences 44, p. 36-44
- [20] Kiessling J, Schubert M, Wagner I (1994): Sprachverständlichkeitsmessungen an Normalhörenden und Schallempfindungsschwerhörigen- fünf Sprachtests im Vergleich, Teil I und II
Audiologische Akustik 1/94, p. 6-16 & 2/94, p. 11-15
- [21] Kiessling (2000): Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie
Laryngorhinootologie 79 (11), p. 633-35
- [22] Kollmeier B (2003): Hördiagnostik mit Sprache
Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie 2003, Beitragsmeldung
- [23] Lehnhard E : Praxis der Audiometrie, Thieme Verlag, 6. neubearbeitete und erweiterte Auflage (1987)
- [24] Marshall L (1991): Decision criteria for pure-tone detection used by two age groups of normal-hearing and hearing-impaired listeners
Journal of Gerontology: Psychological Sciences 46, p. 67-70

- [25] Niemeyer W, Beckmann G (1962): Ein sprachaudiometrischer Satztest
Arch.Ohr., Nas.-u. Kehlk.-Heilkunde 180, p. 742-49
- [26] Niemeyer W (1967): Sprachaudiometrie mit Sätzen
HNO 15, p. 335-343
- [27] Pazdzierniak B (1988): Möglichkeiten und Grenzen der Sprachaudiometrie nicht
deutsch sprechender Ausländer
Laryngol. Rhinol. Otol. 67 (7), p. 326-30
- [28] Platte HJ, Döring WH, Schlöndorff G (1978): Richtungshören und
Sprachverstehen unter Störschalleinfluss bei „Normalhörenden“
Laryng. Rhinol. 57, p. 672-80
- [29] Plomp R, Mimpen AM (1979): Improving the reliability of testing the speech
reception threshold for sentences
Audiology 18, p. 43-52
- [30] Plomp R, Mimpen AM (1979): Speech reception threshold for sentences as a
function of age and noise level
J Acoust Soc Am 66, p. 1333-42
- [31] Schijndel van NH, Houtgast T (2001): Effects of degradation of intensity, time, or
frequency content on speech intelligibility for normal-hearing and hearing-
impaired listeners
J Acoust Soc Am 110(1), p. 529-42
- [32] Schulze-Thüsing R (1991): Sprachverstehen im Störlärm mit dem Marburger
Satztest auf Compact Disc
Medizinische Dissertation Würzburg
- [33] Schultz-Coulon (1973): Über die Bedeutung des Umweltgeräusches für der
Hochtonschwerhörigen
HNO 21, p. 26-32
- [34] Schultz-Coulon HJ (1974): Sprachaudiometrie mit Sätzen und Geräusch
Laryng. Rhinol. 53, p. 734-48
- [35] Smith SL (1968): Extraversion and sensory threshold
Psychophysiology 5 (3), p.293-99
- [36] Strohmaier CJ (2000): Sprachverstehen im Störlärm mit dem Innsbrucker
Satztest in der HSM- Edition auf Compact-Disc bei Normalhörenden
Medizinische Dissertation Würzburg

- [37] Tschopp K, Ingold L: Die Entwicklung einer deutschen Version des SPIN-Tests (Speech Perception in Noise)
aus: Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie, Kollmeier B (Hrsg),
Buchreihe Audiologische Akustik, Median Verlag 1992
- [38a] Wagener K, Kühnel V, Kollmeier B (1999): Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache, Teil I: Design des Oldenburger Satztests
Z. Audiol 38 (1), p. 5-15
- [38b] Wagener K, Brand T, Kollmeier B (1999): Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache, Teil II: Optimierung des Oldenburger Satztests
Z. Audiol 38 (2), p. 44-56
- [38c] Wagener K, Brand T, Kollmeier B (1999): Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache, Teil III: Evaluation des Oldenburger Satztests
Z. Audiol 38 (3), p. 86-95
- [39] Wedel von H (1977): Diskriminationsverhalten von Normal- und Schwerhörigen bei kritischem Signalrauschabstand
Laryng. Rhinol. 56, p. 180-86
- [40] Wedel von H (1984): Reichen die heute verfügbaren sprachaudiometrischen Verfahren zur Hörgeräteanpassung?
Audiol. Akustik 23, 66-77, p. 102-20
- [41] Wedel von H (1985): Untersuchungen zur Sprachdiskrimination bei umweltspezifischen Störgeräuschen
Laryng. Rhinol 64, p. 430-35
- [42] Wedel von H (1986): Entsprechen die sprachaudiometrischen Untersuchungsverfahren den heutigen Anforderungen in Klinik und Praxis?
HNO 34, p. 71-74
- [43] Welzl-Müller K (1981): Der Einfluss des Störlärms auf die Satzverständlichkeit
Laryng. Rhinol. 60, p. 117-20
- [44] Welzl-Müller K, Sattler K (1985): Bewertung des Hörerfolges bei Hörgeräteversorgung
HNO 33, p. 275-78
- [45] Werra von P, Tschopp K, Schneider R (1995): Einfluss der linguistischen Kompetenz auf die sprachaudiometrischen Ergebnisse mit dem Basler Satztest
HNO 43 (2), p. 98-103

- [46] Wesselkamp M, Kliem K, Kollmeier B: Erstellung eines Satztests in deutscher Sprache
aus: Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie, Kollmeier B (Hrsg), Buchreihe Audiologische Akustik, Median Verlag 1992
- [47] Wessely D (2002): Sprachverstehen im Störlärm mit dem HSM-Satztest auf Compact-Disc bei Hörgeräteträgern unter Verwendung eines Hörgerätes mit Richtmikrofon nach Korrektur im Würzburger Hörfeld
Medizinische Dissertation Würzburg
- [48] Wingfield A, Wheale JL (1975): Word rate and intelligibility of alternated speech, Perception & Psychophysics 18 (5), p. 317-20
- [49] Zimmermann M (2000): Sprachverstehen im Störlärm mit dem HSM-Satztest bei Hörgeräteträgern zum Vergleich der Satzgruppen
Medizinische Dissertation Würzburg
- [50] Zwicker E (1986): Klinische Untersuchungen zum Zeitauflösungsvermögen des Gehörs bei verschiedenen Hörschädigungen
Audiol. Akustik 25, p. 170-84
- [51] Zwicker E (1986): Zeitauflösungsvermögen des Gehörs- Eine zweckmäßige Meßmethode im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit
Audiol. Akustik 25, p. 156-69

Danksagung

Als erstes möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Ludwig Moser danken, der mich in hervorragender Weise betreut und beraten hat und jederzeit ein offenes Ohr für meine Fragen hatte.

Herrn Prof. Dr. med. J. Helms danke ich für die freundliche Überlassung des Themas.

Besonders dankbar bin ich den Versuchspersonen, die durch ihre bereitwillige Unterstützung die Grundlage für diese Arbeit lieferten.