

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und
Ohrenkranke

der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. J. Helms

**Bestimmung des Sprache/Rauschen-Verhältnisses für
den HSM-Satztext mit CCITT-Störlärm, angeboten im
freien Schallfeld mit zwei Lautsprechern, mit
Auszählen durch einen Beobachter und Vergleich
mit der eigenen Einschätzung der geprüften Person für
junge, normalhörende Probanden**

Inaugural-Dissertation

Zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von

Jasmin Wegener

aus Würzburg

Würzburg, Dezember 2002

Referent: Professor Dr. med. J. Helms

Koreferent: Professor Dr. med. F. Schardt

Dekan: Professor Dr. med. S. Silbernagl

Tag der mündlichen Prüfung: 18.11.2003

Die Promovendin ist Ärztin.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung

1.1. Vergleich von Ton- und Sprachaudiometrie_____	1
1.2. Sprachaudiometrie im historischen Überblick_____	2
1.3. Sprachverständnis als komplexer zentraler Vorgang_____	3
1.4. Aufgabenstellung_____	3

2. Material und Methodik

2.1. Sprachmaterial und Störlärm_____	5
2.2. Versuchspersonen_____	7
2.3. Audiometrische Ausrüstung_____	7
2.4. Räumliche Bedingungen_____	8
2.5. Versuchsanordnung_____	8
2.6. Versuchsvorbereitung_____	9
2.7. Versuchsdurchführung_____	10
2.8. Versuchslänge_____	14

3. Ergebnisse

3.1. Signal-Rausch-Abstand bei Satzverständnisschwelle___	15
3.2. Signal-Rausch-Abstand bei 60 dB und 80 dB Störlärm___	22
3.3. Selbsteinschätzung bei 50 % gezählt (Est50)_____	22
3.4. Vergleich der Signal-Rausch-Abstände bei rechter und linker Signalseite_____	29
3.5. Signal-Rausch-Abstand für Wortanzahl pro Satz_____	30

4. Diskussion

- 4.1. Erläuterung der Békésy-Audiometrie als zugrundeliegendes Testverfahren_____ 33
- 4.2. Ermittlung der Sprachverständlichkeit_____ 35
- 4.3. Selbsteinschätzung bei 50% gezählt_____ 38
- 4.4. Vergleich der Satzverständlichkeit bei rechter und linker Signalseite_____ 40
- 4.5. Vergleich der Satzverständlichkeit in Bezug auf die unterschiedliche Anzahl der Wörter pro Satz_____ 40
- 4.6. Vergleich der Békésy-Audiometrie mit dem verwendeten Versuchsaufbau_____ 41
- 4.7. Bedeutung der Audiometrie in der Industrie_____ 42
- 4.8. Bedeutung des Versuchsaufbaus für die Hörgeräteanpassung und -versorgung_____ 43

5. Zusammenfassung _____ 45

6. Literaturverzeichnis _____ 47

1. Einleitung

1.1. Vergleich von Ton- und Sprachaudiometrie

Unter Audiometrie versteht man die Messung des Hörvermögens. Ihre Aufgabe ist es, bestimmte Leistungen des komplexen Vorgangs „Hören“ in Zahlen zu fassen. Das Grundprinzip ist bei den unterschiedlichen audiometrischen Verfahren immer gleich: man setzt einen akustisch-physikalischen Reiz und beobachtet die Reaktion des Probanden. Die Art des Reizes ist hierbei sehr unterschiedlich. Es kann sich um Reize mit niedrigem Informationsgehalt, wie Töne, oder mit hohem Informationsgehalt, wie Sprache, handeln (4).

Die Audiometrie hat sich als wichtiges Diagnosemittel des Ohrenarztes zur Feststellung des individuellen Hörvermögens etabliert. Sie ermöglicht die Entscheidung, ob einem Schwerhörigen besser mit einer Operation oder mit der Anpassung eines Hörgerätes geholfen werden kann. Außerdem ist die Audiometrie auch in anderen Bereichen wie Einschulung, Einstellungsuntersuchung, Lärmbekämpfung, Begutachtung, Rehabilitationsverfahren usw. mittlerweile unverzichtbar geworden (5, 16).

Die Ton- und Sprachaudiometrie sind zwei Untersuchungsverfahren, die unterschiedliche Eigenschaften des Gehörs untersuchen (25). Die Tonaudiometrie dient der Bestimmung der Tonhörschwelle und gestattet es somit, Aussagen zu machen über die Leistungsfähigkeit des akustischen Systems bezüglich reiner Töne (3). Sie ist eines der wichtigsten Untersuchungsmittel, um eine Hörstörung zu differenzieren und zu quantifizieren (25). Gelegentlich kann es jedoch in den Messergebnissen zu Diskrepanzen zwischen Tongehör und Sprachgehör kommen, d.h. Patienten mit praktisch normalem Tonaudiogramm klagen über deutliche Schwierigkeiten im Sprachverständnis (25). Es kann also nicht mit ausreichender Sicherheit aus einem Tonaudiogramm auf das Sprachverständnis geschlossen werden (18).

Die Sprachaudiometrie misst nicht die eigentliche Hörleistung, sondern das

Sprachverständnis, also einen sehr komplexen Vorgang, der verschiedene zentrale Hirnstrukturen einbezieht. Deshalb ist sie eher unbedeutend bei peripheren Hörstörungen, aber umso wichtiger bei zentralen Hörstörungen (25).

Sprache ist repräsentativ für die auditiven Reize, die uns im Alltag ständig umgeben, und ist das entscheidende Kommunikationsmittel in unserer Gesellschaft.

Hieraus erklärt sich auch, dass das zugrundeliegende Prinzip eines Sprachtests im Gegensatz zur Verwendung von Tönen, die für den Untersuchten keine Bedeutung haben, besonders eingängig für die Testpersonen ist (12).

1.2. Sprachaudiometrie im historischen Überblick

Im deutschsprachigen Raum (11) war der Freiburger Sprachverständlichkeitstest nach Hahlbrock (1957) lange Zeit als gängigstes Verfahren in Gebrauch. Er besteht aus zehn Gruppen mit je zehn zweistelligen Zahlen und zehn Gruppen mit je 20 einsilbigen Wörtern. Mit Zahlen wird der Hörverlust in Dezibel, mit Wörtern die Verständlichkeit in Prozent geprüft. Der Test wurde mittlerweile mehrfach umgearbeitet und ist nun in der Version von Döring und Hamacher (1992) in Gebrauch. Auch der seit vielen Jahren verwendete Marburger Satztest von Niemeyer (1962) blieb nicht ohne Kritik; er wurde inzwischen weiterentwickelt zum Göttinger Satztest (1992), der klinisch bislang nur bei Ergebniskontrollen nach Cochlea-Implantat-Versorgung angewandt wird. Sotschek (1982) konzipierte einen Reimtest, der durch eine ganz andere Form des Testmaterials und Testablaufs gekennzeichnet ist. Dem Probanden werden hierbei fünf Wörter mit gleichem Vokal, aber unterschiedlichem An- oder Auslaut vorgespielt. Das Wort, das er verstanden hat, soll er benennen. Obwohl das Testmaterial inzwischen erweitert und verbessert wurde, ist der Einsatz in Klinik und Praxis bisher noch nicht üblich. Der HSM-Satztest (Hochmeier-Schultz-Moser), 1995 in Anlehnung an den Innsbrucker Satztest entwickelt, wurde primär auf die Belange von Cochlea-Implantat-Patienten

abgestimmt (11). Der HSM-Satztest wird in dieser Arbeit verwendet.

1.3. Sprachverständnis als komplexer zentraler Vorgang

Das Sprachverständnis ist wie bereits angesprochen ein sehr komplexer Vorgang, der in der vorliegenden Arbeit nur grob umrissen werden soll.

Die aufsteigende Hörbahn, die zwischen Cochlea und Kortex durch fünf bis sechs Neuronen gebildet wird (8), kodiert Schallsignale nach verschiedenen Eigenschaften: Beginn und Ende des Schallsignals, Frequenzübergänge, Intensitätsunterschiede, Zeitstrukturen usw. Am Ausgang des Hörnervs sind die Informationen verschlüsselt und müssen im Gehirn erst wieder decodiert werden, damit es zum Sprachverständnis kommen kann (3), d.h. die eingehenden Signale führen zu einer jeweils spezifischen Reaktion von Neuronen, deren jeweiliges Muster im Kortex weiterverarbeitet und eingeteilt wird. Für die Sprachanalyse, aber auch die Analyse anderer Schalle, sind neben dem primären und sekundären Kortex auch noch entsprechende Assoziationsfelder der Hirnrinde zuständig (24, 29).

1.4. Aufgabenstellung

Im folgenden Versuchsaufbau wird ein sprachaudiometrisches Verfahren eingesetzt.

Ziel dieser Arbeit ist es zum einen, den Signal-Rausch-Abstand (S/N-Abstand) bei 50%igem Satzverständnis von jungen, normalhörenden Probanden zu ermitteln. Zum anderen soll durch Befragung festgestellt werden, ob die subjektive Einschätzung des Satzverständnisses durch den Probanden mit den vom Untersucher objektiv ermittelten Ergebnisse übereinstimmt oder ob stärkere Abweichungen vorhanden sind, d.h. also, ob der Proband sich bezüglich seiner Hörleistung gut oder schlecht einschätzen kann.

Es handelt sich hierbei zwar um ein sprachaudiometrisches Verfahren, aber das dahinter liegende Prinzip stammt aus einem 1947 von Georg von Békésy entwickelten tonaudiometrischen Verfahren. Beide Verfahren verändern nämlich die angebotene Lautstärke abhängig von der Patientenreaktion in automatisierter Form.

2. Material und Methodik

Material und Methodik entsprechen denen der Arbeit meines Kollegen Romanos (21), der Untersuchungen an 55- bis 65-Jährigen Probanden durchführte.

2.1. Sprachmaterial und Störlärm

Verwendet wurde der HSM-Test, der in Anlehnung an den Innsbrucker Satztest entwickelt wurde, wobei die einzelnen Buchstaben für die Entwickler des Tests, nämlich Dr. I. J. Hochmair-Desoyer, Dr. E. Schulz und Dipl.-Ing. L. M. Moser stehen.

Er besteht aus 30 Satz- und vier Testgruppen. Jede Satzgruppe enthält 20 Sätze. Diese Sätze haben in jeder Satzgruppe die gleiche Anzahl von Wörtern in derselben Reihenfolge:

1. Satz:	4 Wörter	analog:	11. Satz:	4 Wörter
2. Satz:	3 Wörter		12. Satz:	3 Wörter
3. Satz:	6 Wörter		13. Satz:	6 Wörter
4. Satz:	5 Wörter		14. Satz:	5 Wörter
5. Satz:	5 Wörter		15. Satz:	5 Wörter
6. Satz:	6 Wörter		16. Satz:	6 Wörter
7. Satz:	8 Wörter		17. Satz:	8 Wörter
8. Satz:	5 Wörter		18. Satz:	5 Wörter
9. Satz:	7 Wörter		19. Satz:	7 Wörter
10. Satz:	4 Wörter		20. Satz:	4 Wörter

Die Sätze haben inhaltlich keinen Bezug aufeinander, so dass der Proband

sich ihren Inhalt nicht erschließen kann.

Nach Strohmaier (28) sind die Satzgruppen des Innsbrucker Satztests in der HSM-Edition, ihre durchschnittliche Verständlichkeit betreffend, normalverteilt, d.h. die Satzgruppen sind austauschbar. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch Zimmermann (34). Er untersuchte den HSM-Satztest bei Hörgeräteträgern bezüglich der Ausgewogenheit der Satzgruppen und stellte fest, dass die Unterschiede zwischen den Satzgruppen nicht signifikant zu Tage treten. Das bedeutete für diesen Versuchsaufbau, dass nicht pro Proband der gesamte Test mit den 30 Satzgruppen durchlaufen werden musste. Man konnte sich auf acht Satzgruppen pro Durchgang beschränken, acht unterschiedliche Satzgruppen allerdings, so dass ein Lerneffekt nach Schulz-Coulon (27) keine Rolle spielen kann.

Da Sprachtests möglichst echt Alltagssituationen simulieren sollen und der Mensch im täglichen Leben ständig vor die Aufgabe gestellt wird, Sprache bei gleichzeitig bestehendem Störschall zu verstehen (19), ist die Verwendung von Hintergrundrauschen sehr realitätsnah (11). Bei dem Störlärm handelt es sich hier um ein so genanntes sprachsimulierendes Rauschen (auch als Postrauschen bezeichnet) nach CCITT (27). Dieses enthält das Frequenzspektrum der hauptsächlich in der Umwelt vorkommenden Geräusche, wobei der Schwerpunkt im tiefen Frequenzbereich liegt (30). Im Versuch wurde das Rauschen phasenverschoben, also inkohärent dargeboten, d.h. es erfolgte eine wechselseitige Verstärkung bei Überlagerung der Frequenzbänder um drei dB.

2.2. Versuchspersonen

An den Versuchen nahmen 25 Probanden teil, davon 20 männliche und fünf weibliche. Es handelte sich durchwegs um Studenten im Alter zwischen 20 und 30 Jahren, deren Muttersprache deutsch ist und bei denen anamnestisch kein Hörschaden ermittelt werden konnte. Ein Proband wurde ausgeschlossen, da er deutlich differierende Werte aufwies im Vergleich zum Restkollektiv. Auf diesen „Ausreißer“ wird später noch genauer eingegangen.

2.3. Audiometrische Ausrüstung

PC:	Maxdata, 466 Mhz, Celeron
Software:	Westra 32 (Datenerfassung) HSM-Satztest (CD-ROM)
Kalibriergeräte:	Verstärker, Harman/Kardon HK610, 150 Watt Head and Torso Simulator, Type 4128, Brüel&Kjaer
Lautsprecher:	Lautsprecher der Firma Manger (Mangerboxen)

Die Mangerboxen unterscheiden sich von herkömmlichen Lautsprechern dahin gehend, dass ihnen eine extrem wirklichkeitsgetreue Klangabbildung bescheinigt wird. Dies wird erreicht durch die Minimierung von Einschwingvorgängen, die in Klangverfälschungen resultieren (13).

2.4. Räumliche Bedingungen

Die Versuche fanden in einem schallarmen Raum, der Camera Silens der Würzburger HNO-Universitätsklinik, statt.

Im Versuchsraum befanden sich ein Hocker für den Probanden und eine Sitzgelegenheit für den Untersucher, der in ungefähr zwei Meter Abstand vom Probanden saß und den Computer bediente. Mit dem PC war es möglich die Sätze abzuspielen und die Antworten des Probanden zu registrieren. Weitere Messapparaturen eines anderen Versuchsaufbaus im gleichen Raum interferierten nicht mit der Durchführung der Messungen.

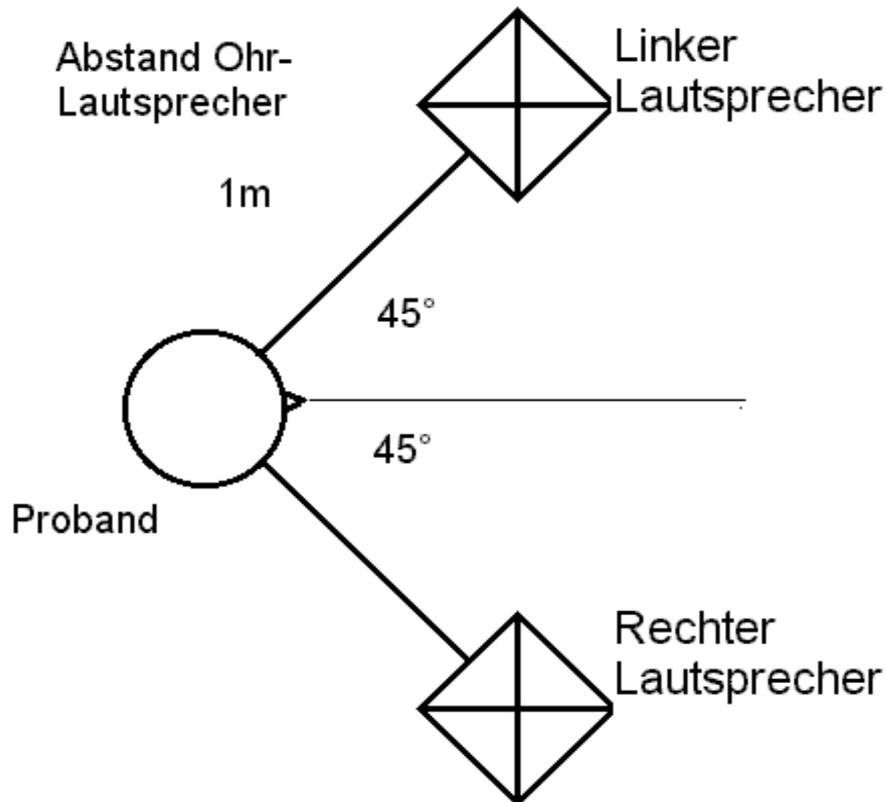
Ebenfalls in der Camera Silens befand sich ein Mituntersucher, der die Antworten des Patienten zusätzlich schriftlich festhielt, um dem Verlust von Informationen durch eventuelle Software-Probleme vorzubeugen.

2.5. Versuchsanordnung

Der PC, auf dem sich das Westra-Programm zur Datenerfassung der Probanden und ein weiteres, von A. Möltner entworfenes Programm zum Abspielen des HSM-Test befand, war verbunden mit dem Verstärker. Dieser war wiederum verbunden mit dem Eichgerät und den beiden Boxen. Die beiden Boxen befanden sich in genau einem Meter Abstand vom rechten bzw. linken Ohr des Probanden. Angeordnet waren sie in 45°-Winkeln zur Blickrichtung des Probanden.

Zur Verdeutlichung siehe Skizze.

Abbildung 1: Versuchsanordnung



2.6. Versuchsvorbereitungen

Vor jedem Testbeginn musste zunächst jeder Lautsprecher geeicht werden. Verwendung fand hierbei ein Dummie, der exakt an Stelle des Probanden positioniert wurde, mit den angeschlossenen Kalibriergeräten.

Bevor der eigentliche Versuch beginnen konnte, fand eine Justierung des höhenverstellbaren Hockers statt, so dass die Ohren des Probanden sich auf Höhe der Lautsprecher befanden. Dann wurde der Proband zunächst eingehend auf den Versuchablauf vorbereitet. Er wurde gebeten, zunächst grob

einzuschätzen, wie gut er den dargebotenen Satz verstanden zu haben glaubt. Dem Probanden standen dabei vier Kategorien zur Verfügung.

Diese Kategorien lauteten:

- alles verstanden
- viel verstanden
- wenig verstanden
- nichts verstanden

Je nach Proband wurden auch die alternativ angebotenen Kategorien: nichts, 1/3, 2/3, alles oder 0 %, 33 %, 66 %, 100 % bevorzugt. Zur visuellen Unterstützung erhielt der Patient ein Blatt Papier, auf dem die verschiedenen subjektiven Einschätzungsmöglichkeiten mit verschiedenen Farbkreisen bildlich festgehalten waren. Danach wurde der Patient gebeten, den gehörten Satz, soweit es ihm möglich war, zu wiederholen. Das heißt, der Proband hatte unter Umständen überhaupt nichts, einige Wortfetzen oder den vollständigen Satz verstanden und gab dies wieder.

Dem Probanden wurden zunächst einige Sätze aus einer Testgruppe vorgespielt, bis er sich sicher genug fühlte, um mit dem eigentlichen Versuch zu beginnen.

2.7. Versuchsdurchführung

Dem Probanden wurden der Reihe nach acht Satzgruppen des HSM-Test vorgespielt, vier Satzgruppen aus dem rechten Lautsprecher und vier Satzgruppen aus dem linken Lautsprecher.

Der Störlärm kam durchwegs aus beiden Lautsprechern. Für zwei Satzgruppen wurde er auf 57 dB eingestellt, um am Probandenohr aufgrund der geschilderten Verstärkung den Wert 60 dB zu erhalten, und für die folgenden zwei Satzgruppen auf 77 dB, um den Wert 80 dB zu erhalten. Bei Störlärm 60

dB wurde die Sprache eine Satzgruppe lang mit 52 dB und eine Satzgruppe lang mit 58 dB zugespielt. Das entspricht einem Wert unterhalb und einem oberhalb der 50 %- Satzverständnis-Schwelle, oder auch „Speech Reception Threshold“ (SRT) genannt. Das ist der Signal-Rausch-Abstand, bei dem der Proband die Hälfte der Wörter versteht. Dieser wurde zuvor bei vier Probanden approximativ ermittelt. Diese Probanden gehen nicht in die Versuchsergebnisse mit ein. Bei Störlärm 80 dB wurde dementsprechend zunächst mit einer Satzgruppe 70 dB und einer bei 78 dB begonnen.

Zur Systematik des Versuchs sollten noch einige Erklärungen hinzugefügt werden:

- Um systematische Fehler zu minimieren, wurden die Satzgruppen der Reihe nach angespielt und nach der 30. Satzgruppe wieder bei der ersten begonnen.
- Weiterhin wurden erst vier Satzgruppen auf dem rechten Lautsprecher und dann vier Satzgruppen auf dem linken Lautsprecher abgespielt. Diese Reihenfolge wurde bei jedem Probanden geändert, das heißt der nächste Proband hörte die Sätze erst links und dann rechts.
- Die vier Satzgruppen sind unterteilt in zwei Satzgruppen bei ca. 80 dB und zwei bei ca. 60 dB (jeweils eine Satzgruppe oberhalb und eine unterhalb der SRT). Diese Reihenfolge wurde jeweils nach zwei Probanden verändert.
- Außerdem wurde nach jeweils acht Probanden die Reihenfolge der Anfangslautstärke vom Überschwelligen zum Unterschwelligen vertauscht.

Hierzu siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Schema zur Testdurchführung

Proband	Gruppe	Sprache	Störgeräusch (dB)	Anfangslautstärke	
				> SRT	< SRT
1	1	rechts	60	X	
1	2	rechts	60		X
1	3	rechts	80	X	
1	4	rechts	80		X
1	5	links	60	X	
1	6	links	60		X
1	7	links	80	X	
1	8	links	80		X
2	9	links	60	X	
2	10	links	60		X
2	11	links	80	X	
2	12	links	80		X
2	13	rechts	60	X	
2	14	rechts	60		X
2	15	rechts	80	X	
2	16	rechts	80		X
3	17	rechts	80	X	
3	18	rechts	80		X
3	19	rechts	60	X	
3	20	rechts	60		X
3	21	links	80	X	
3	22	links	80		X
3	23	links	60	X	
3	24	links	60		X

An dieser Stelle folgen einige Erläuterungen zu dem verwendeten Computerprogramm. Das Programm bot verschiedene Möglichkeiten. Zum einen war es möglich, die Dezibelwerte für signal (Sprache) und noise (Störlärm) einzustellen. Dann konnten die verschiedenen Satzgruppen aktiviert werden, die aus jeweils 20 Sätzen bestehen. Jeder einzelne Satz war durch einen Mausklick abspielbar. Weiterhin waren vier Felder für die verschiedenen Kategorien der Selbsteinschätzung vorgesehen, die der Untersucher gemäß den Angaben des Probanden markierte. Dieser Vorgang hatte Auswirkungen auf die Dezibelwerte der Sprache:

Glaubte der Proband alles verstanden zu haben und der Untersucher markierte somit das „alles verstanden“-Feld, wurde der nächste Satz um zwei Dezibel leiser präsentiert. Bei der Antwort „viel“ wurde die Sprachlautstärke um ein Dezibel gesenkt, bei der Antwort „wenig“ um ein Dezibel erhöht und schließlich bei der Einschätzung „nichts“ wiederum um zwei Dezibel erhöht.

Bei der Wiederholung des Satzes durch den Probanden konnte der Untersucher die nicht verstandenen Wörter wiederum durch Mausklicke markieren und das Programm ermittelte, wieviel Prozent des Satzes der Proband verstanden hat. So konnte der Untersucher nebeneinander auf seinem Bildschirm die subjektive Einschätzung des Probanden in Prozent und die wirklich verstandenen Prozent des Satzes verfolgen.

Die Auswertung erfolgte mit den Programmen dBase, Excel und SPSS.

2.8. Versuchslänge

Der jeweilige Versuch dauerte pro Proband zwischen 40 und 50 Minuten. Einberechnet sind dabei Erklärungsphase und Vorspielen von Testsätzen. Außerdem wurde je nach Wunsch des Probanden zum Teil eine kurze Pause von wenigen Minuten nach der Hälfte des Testes eingelegt.

Die Probanden gaben an, die Versuchslänge als vertretbar zu empfinden, und verneinten eine Abnahme ihrer Konzentration.

3. Ergebnisse

3.1. Signal-Rausch-Abstand bei Satzverständnisschwelle

Für jeden einzelnen Probanden wurden die Signal-Rausch-Abstände bei 50%igem Satzverständnis bestimmt. Dies erfolgte durch die Durchführung einer Regressionsanalyse (6). Die Werte sind aus Tabelle 2 und 3 zu ersehen. Der Mittelwert beträgt -4,66 dB mit einer Standardabweichung von 1,03. In Abbildung 2 wurde die Beziehung zwischen Satzverständnis und Signal-Rausch-Abstand grafisch dargestellt.

Tabelle 2: Mittelwert der S/N-Abstände bei SRT

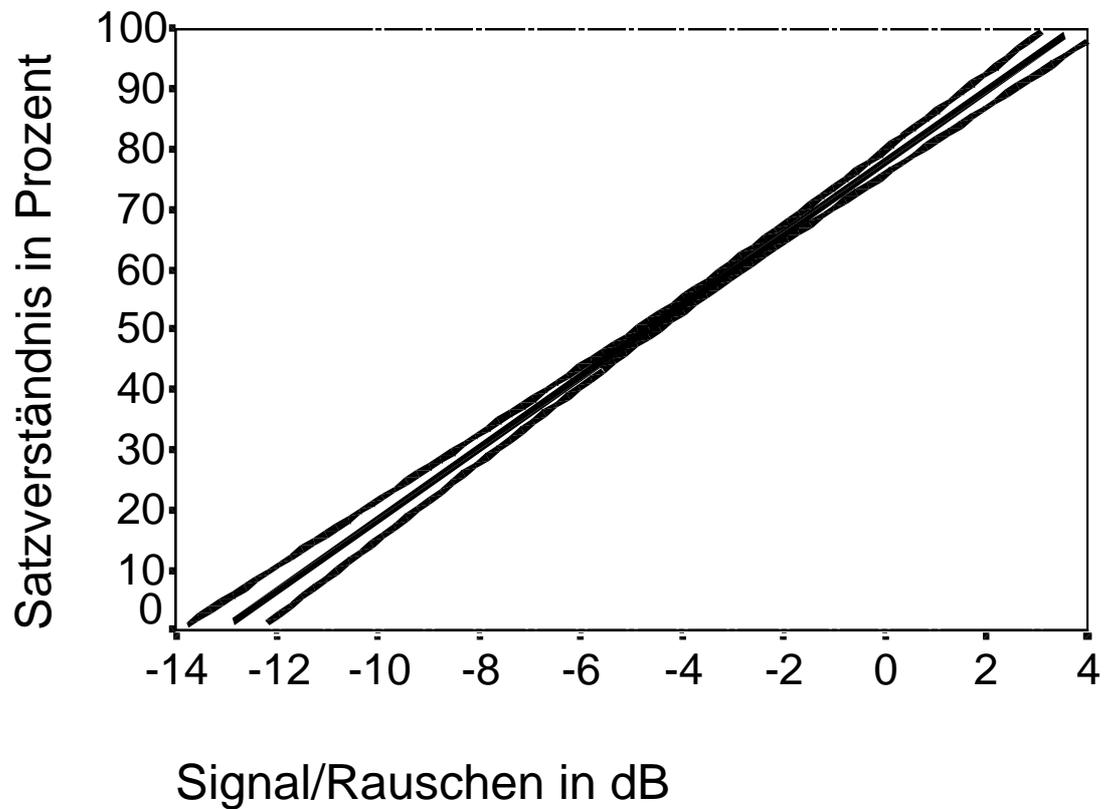
Minimum	-6,53		Mittelwert	-4,66
Maximum	-1,73		Standardabweichung	1,03

Tabelle 3: Einzelwerte der S/N-Abstände bei SRT

Proband	Korrelationskoeffizient		S/N (%)
	Konst.	Steigung	
1	79,59	6,16	-4,8
2	89,97	7,36	-5,4
3	67,07	5,07	-3,4
4	85,85	5,49	-6,5
5	75,39	4,73	-5,4
6	76,46	5,24	-5,0
7	73,82	6,58	-3,6
8	88,23	7,27	-5,3
9	84,66	5,99	-5,8
10	73,78	6,09	-3,9
11	94,42	9,31	-4,8
12	73,35	4,16	-5,6
13	77,22	5,63	-4,8
14	77,01	8,40	-3,2
15	82,36	6,02	-5,4
16	78,87	6,32	-4,6
17	85,45	6,60	-5,4
18	83,72	8,42	-4,0
19	78,97	7,65	-3,8
20	77,24	5,02	-5,4
21	84,12	8,03	-4,2
22	87,60	7,67	-4,9
23	63,68	7,89	-1,7
24	82,51	6,59	-4,9

Ausgeschlossener Proband:		
68,31	2,81	-6,5

Abbildung 2: Verhältnis von S/N-Abstand zu Satzverständnis



Außerdem wurde der T-Test durchgeführt, um Aussagen über den Mittelwert der Stichprobe zu treffen (17). Die Abweichungen vom Mittelwert ergaben sich als nicht signifikant. Dazu Tabellen 4 und 5.

Tabelle 4: Statistik bei einer Stichprobe für S/N

N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
24	-4,7	1,0	0,2

Tabelle 5: T-Test bei einer Stichprobe für S/N

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	95 % Konfidenzintervall der Differenz	
				Untere	Obere
-22,2	23	0,0	-4,7	-5,1	-4,2

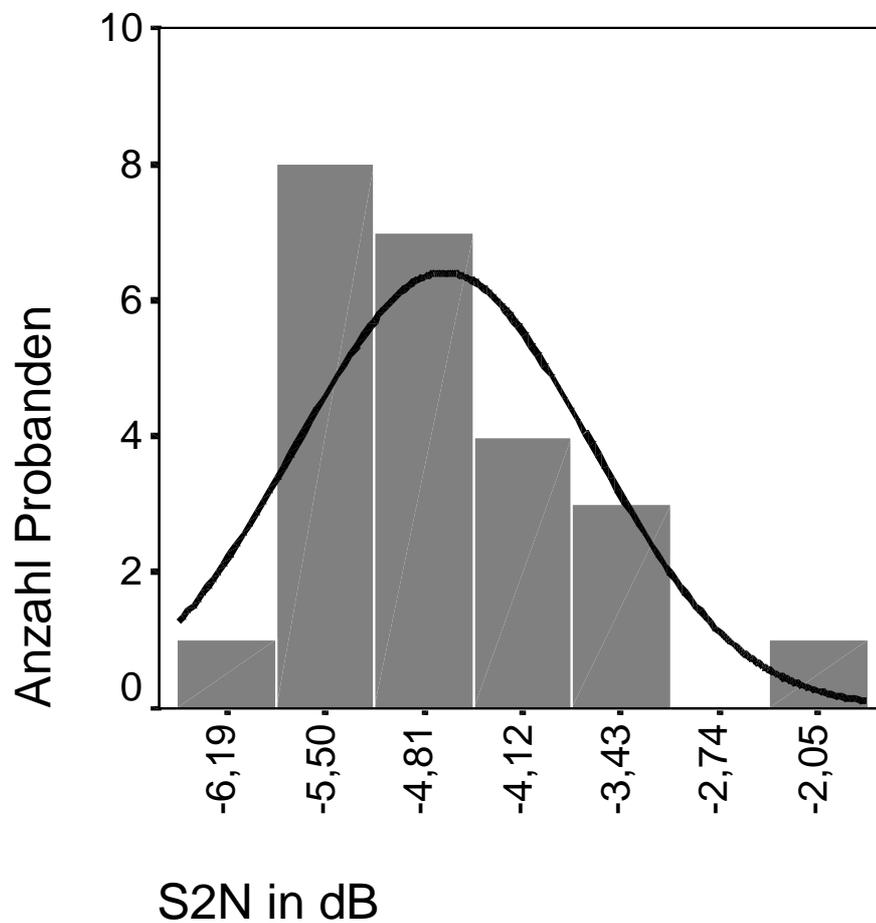
Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest wird verwendet, um die Normalverteilung einer Stichprobe nachzuweisen. Dafür charakteristisch ist die zweiseitige asymptotische Signifikanz, die sich auf 0,52 beläuft. Die Werte können somit als normalverteilt betrachtet werden (Tabelle 6).

Tabelle 6: Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest für S/N

Anzahl Probanden (N)		24
Parameter der Normalverteilung	Mittelwert	-4,66
	Standardabweichung	1,03
Extremste Differenzen	Absolut	0,17
	Positiv	0,17
	Negativ	-0,10
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,82
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,52

In Abbildung 3 wurde die Normalverteilung des Signal-Rausch-Abstandes bildlich dargestellt.

Abbildung 3: Normalverteilung des S/N-Abstandes



Im Vergleich zu den Probanden der Versuchsreihe von Romanos zeigt sich ein Unterschied für die Mittelwerte von S/N. Die 20- bis 30-Jährigen (kurz: 25a) hörten durchschnittlich bei -4,7 dB, die 55- bis 65-Jährigen (kurz: 60a) bei 0,3 dB 50 % des angebotenen Sprachmaterials (Tabellen 7, 8 und 9). Eine Übersicht über die Werte findet man in Abbildung 4.

Tabelle 7: Vergleichende Gruppenstatistiken für S/N

Altersgruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
25 a	24	-4,7	1,0	0,2
60 a	25	0,3	1,9	0,4

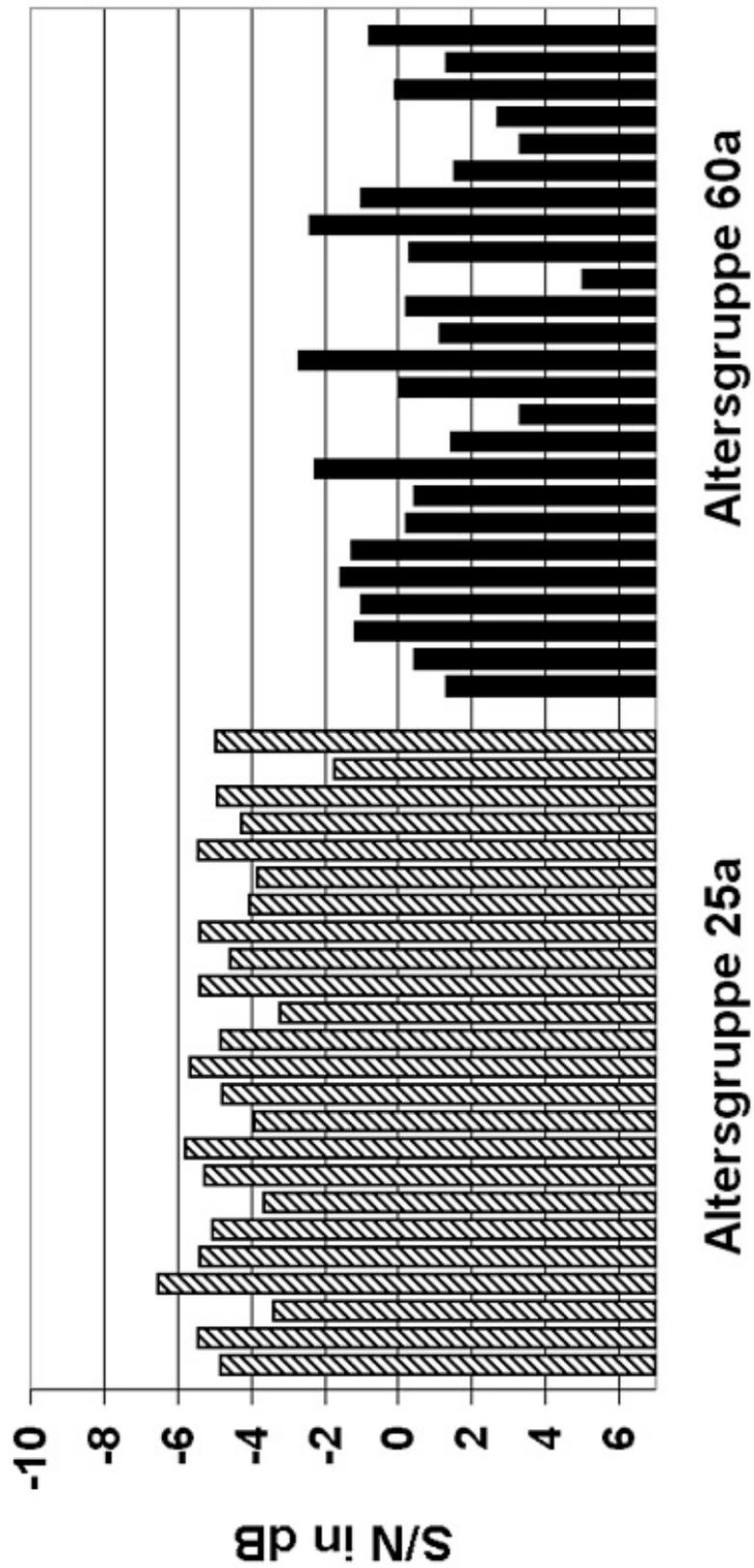
Tabelle 8: T-Test für die Mittelwertgleichheit zweier Stichproben

T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95 %-Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
-11,3	47,0	0,0	-4,98	0,44	-5,9	-4,1
-11,4	37,2	0,0	-4,98	0,44	-5,9	-4,1

Tabelle 9: Levene-Test der Varianzgleichheit

	F	Signifikanz
Varianzen sind gleich	5,7	0,02
Varianzen sind nicht gleich	-	-

Abbildung 4: Vergleich der Altersgruppen (S/N-Abstand)



3.2. Signal-Rausch-Abstand bei 60 dB und 80 dB Störlärm

Im Vergleich zwischen der leisen Einstellung des Störsignals von 60 dB und der lauten mit 80 dB ergeben sich als Signal-Rausch-Abstände bei SRT für

60 dB -3,18 dB und für
80 dB -5,79 dB.

Errechnet wurden die Werte aus den in Tabelle 10 zu sehenden Regressionskoeffizienten.

Tabelle 10: Koeffizienten für S/N bei 60 dB und 80 dB Störschall

Lärm Pegel	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardfehler	Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B		Beta		
60 dB	Konst.	77,10	1,28		60,11	0
	S/N	8,53	0,40	0,44	21,45	0
80 dB	Konst.	89,34	1,79		49,86	0
	S/N	6,79	0,34	0,42	19,88	0

3.3. Selbsteinschätzung bei 50% gezählt (Est 50)

Es wurden hier die Einschätzungen der Probanden bei der 50%igen Satzverständnisschwelle ermittelt. Der Mittelwert betrug 48,04 % und die Standardabweichung 4,47. 95 % der Probanden befanden sich im Bereich von 39,1 % bis 56,26 %, was der zweifachen Standardabweichung entspricht. Nur ein

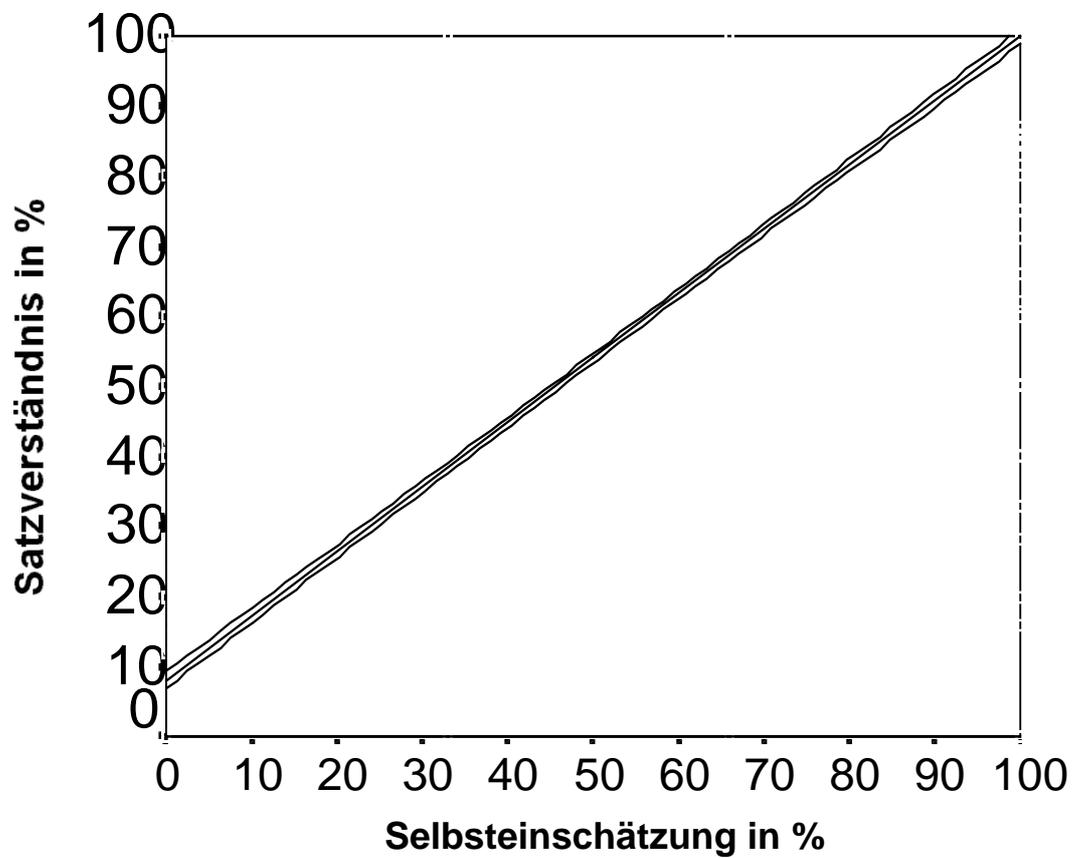
Proband lag mit 38,81 % außerhalb des 95 % -Konfidenzintervalls.

Die Werte kann man aus Tabelle 11 ansehen, die dazugehörige Graphik in Abbildung 5.

Tabelle 11: Selbsteinschätzung bei SRT (EST50)

Proband	EST50 (%)	Proband	EST50 (%)
1	52,37	13	45,41
2	48,63	14	43,05
3	52,04	15	51,60
4	45,97	16	53,43
5	43,21	17	38,81
6	48,35	18	40,99
7	52,98	19	47,75
8	51,76	20	45,01
9	48,35	21	53,34
10	45,14	22	51,13
11	43,00	23	47,87
12	46,53	24	56,26
Minimum	38,81	Mittelwert	48,04
Maximum	56,26	Standard- abweichung	4,47

Abbildung 5: Verhältnis von Selbsteinschätzung (in %) und Satzverständnis



Auf gleiche Weise wie beim Signal-Rausch-Abstand wurde hier der T-Test angewandt, dessen Ergebnisse in Tabellen 12 und 13 aufgelistet sind. Wiederum erweist sich die Signifikanz als 0.

Tabelle 12: Statistik bei einer Stichprobe für EST50

N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
24	48,0	4,5	0,9

Tabelle 13: T-Test bei einer Stichprobe für EST50

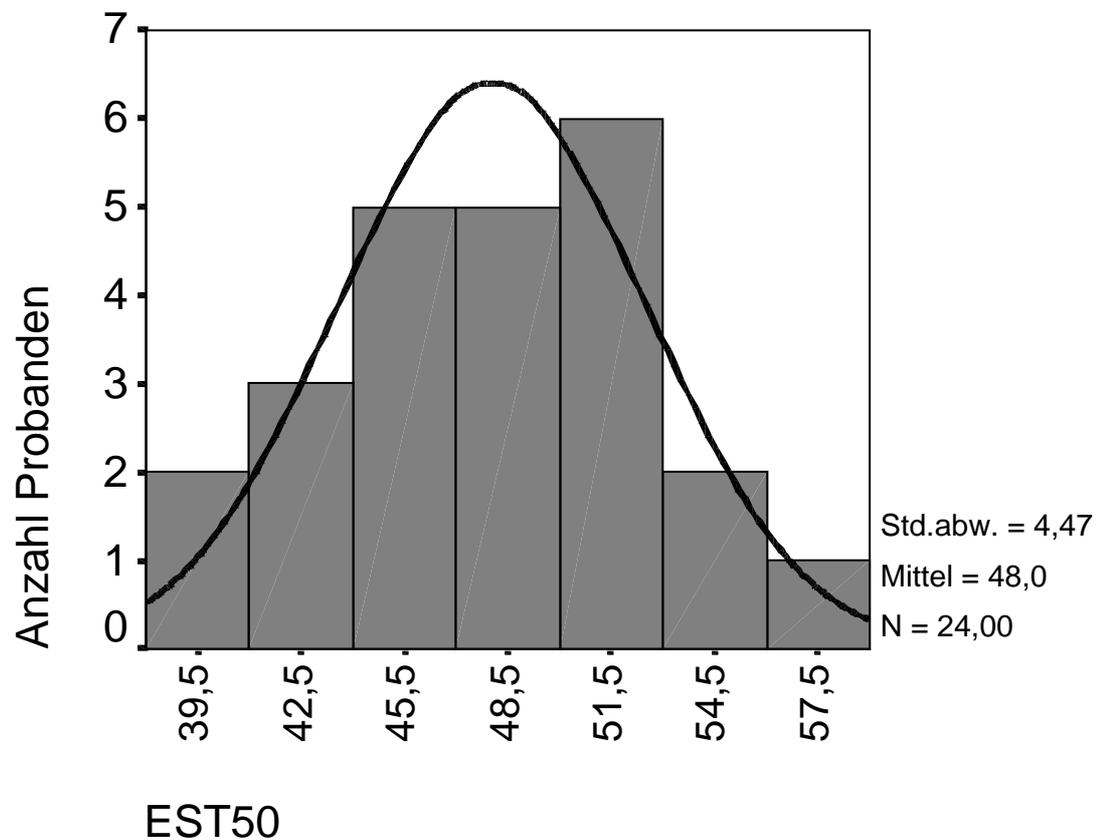
T	Df	Signifikanz (2-seitig)	mittlere Differenz	95 %-Konfidenzintervall der Differenz	
				unteres	oberes
2,6	23	0,0	48,0	46,2	49,9

Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest zeigt die Normalverteilung der ermittelten Werte der Selbsteinschätzung, wie man aus Tabelle 14 und Abbildung 6 ersehen kann.

Tabelle 14: Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest der Selbsteinschätzung bei SRT

Anzahl Probanden (N)		24
Parameter der Normalverteilung	Mittelwert	48,04
	Standardabweichung	4,47
Extremste Differenzen	Absolut	0,13
	Positiv	0,07
	Negativ	-0,13
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,64
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,81

Abbildung 6: Normalverteilung von EST50



Im Vergleich mit den älteren Probanden ergeben sich für die Selbsteinschätzung ähnliche Werte. Die Mittelwerte betragen für die jungen Probanden 48,0 %, für die älteren Probanden 48,9 % bei 50%igem Satzverständnis (Tabellen 15, 16 und 17, Abbildung 7).

Tabelle 15: Gruppenstatistiken für EST50

Alter	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
25 a	24	48,0	4,5	0,9
60 a	25	48,9	3,7	0,7

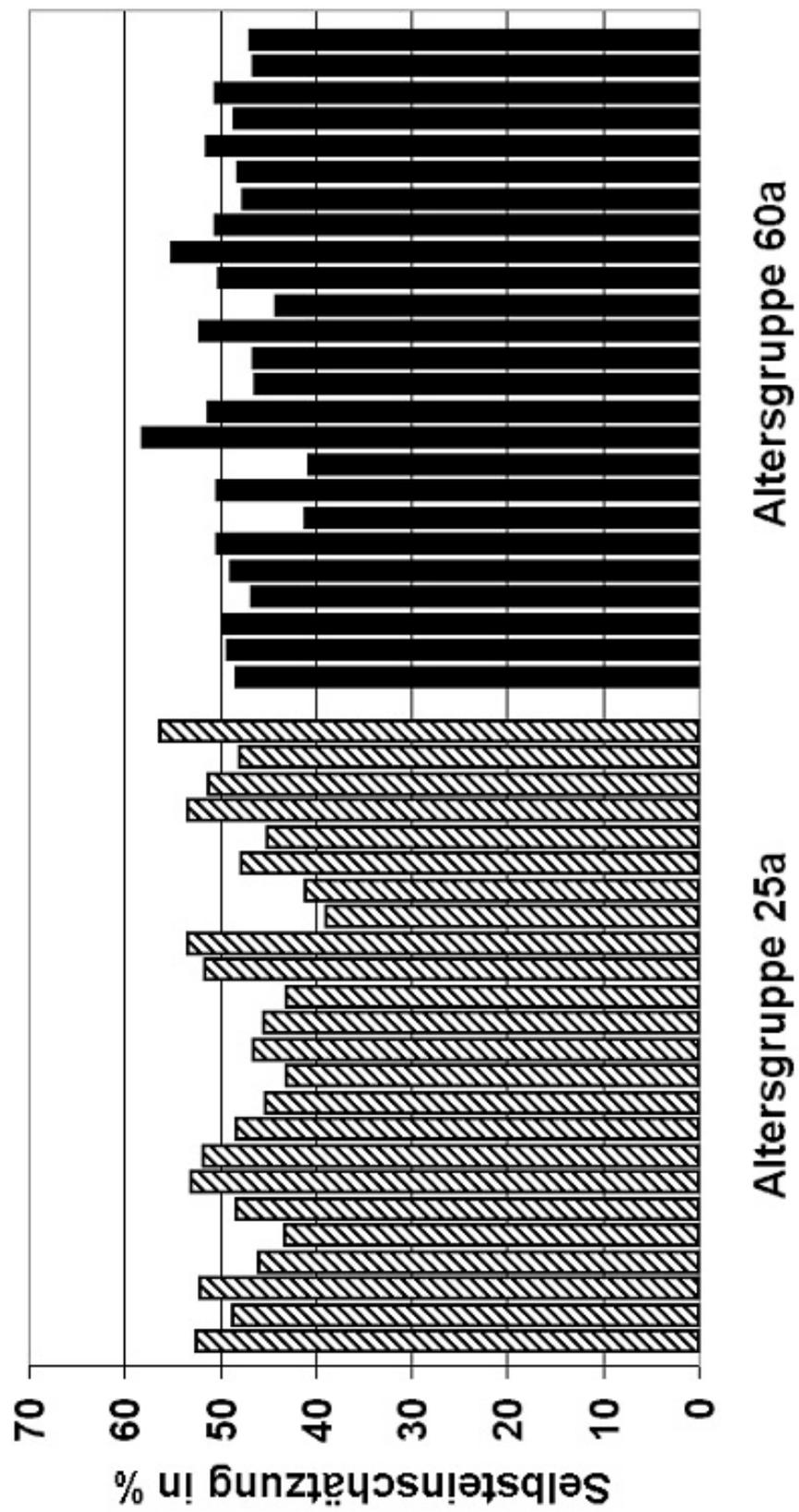
Tabelle 16: T-Test für die Mittelwertgleichheit

T	Df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95 %-Konfidenz- intervall der Differenz	
					unteres	oberes
-0,7	47,0	0,48	-0,84	1,17	-3,20	1,52
-0,7	44,8	0,48	-0,84	1,18	-3,21	1,53

Tabelle 17: Levene-Test der Varianzgleichheit

	F	Signifikanz
Varianzen sind gleich	1,84	0,18
Varianzen sind nicht gleich	-	-

Abbildung 7: Vergleich der Altersgruppen (EST50)



3.4. Vergleich der Signal-Rausch-Abstände bei rechter und linker Signalseite

Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (siehe Tab.18):

Rechts: -5,0 dB

Links: -4,4 dB

Tabelle 18: Koeffizienten für S/N rechts und links

Signal Seite	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardfehler	Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B		Beta		
rechts	Konst.	79,0	1,45		54,4	0
	S/N	5,8	0,33	0,37	17,5	0
links	Konst.	76,9	1,48		51,9	0
	S/N	6,2	0,35	0,38	17,8	0

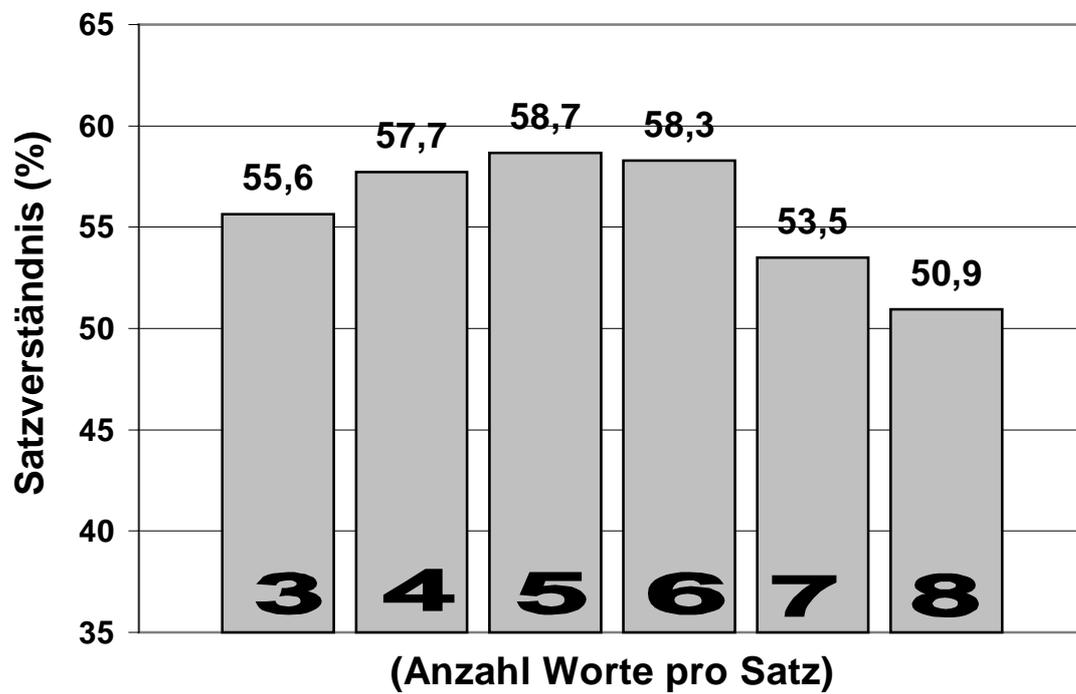
3.5. Signal-Rausch-Abstand für Wortanzahl pro Satz

Es wurden zur Ermittlung des prozentualen Verständnisses in Abhängigkeit der Satzlänge sowie die der dazugehörigen Signal-Rauschabstände die Verständnisseleistungen der jeweiligen Satzlänge gemittelt. Die Werte bewegen sich im Bereich zwischen 50,9 % und 58,7 % bzw. -3,35 dB und -3,92 dB (Tabelle 19 und Abbildung 8).

Tabelle 19: Satzverständnis und S/N-Abstand nach Satzlänge

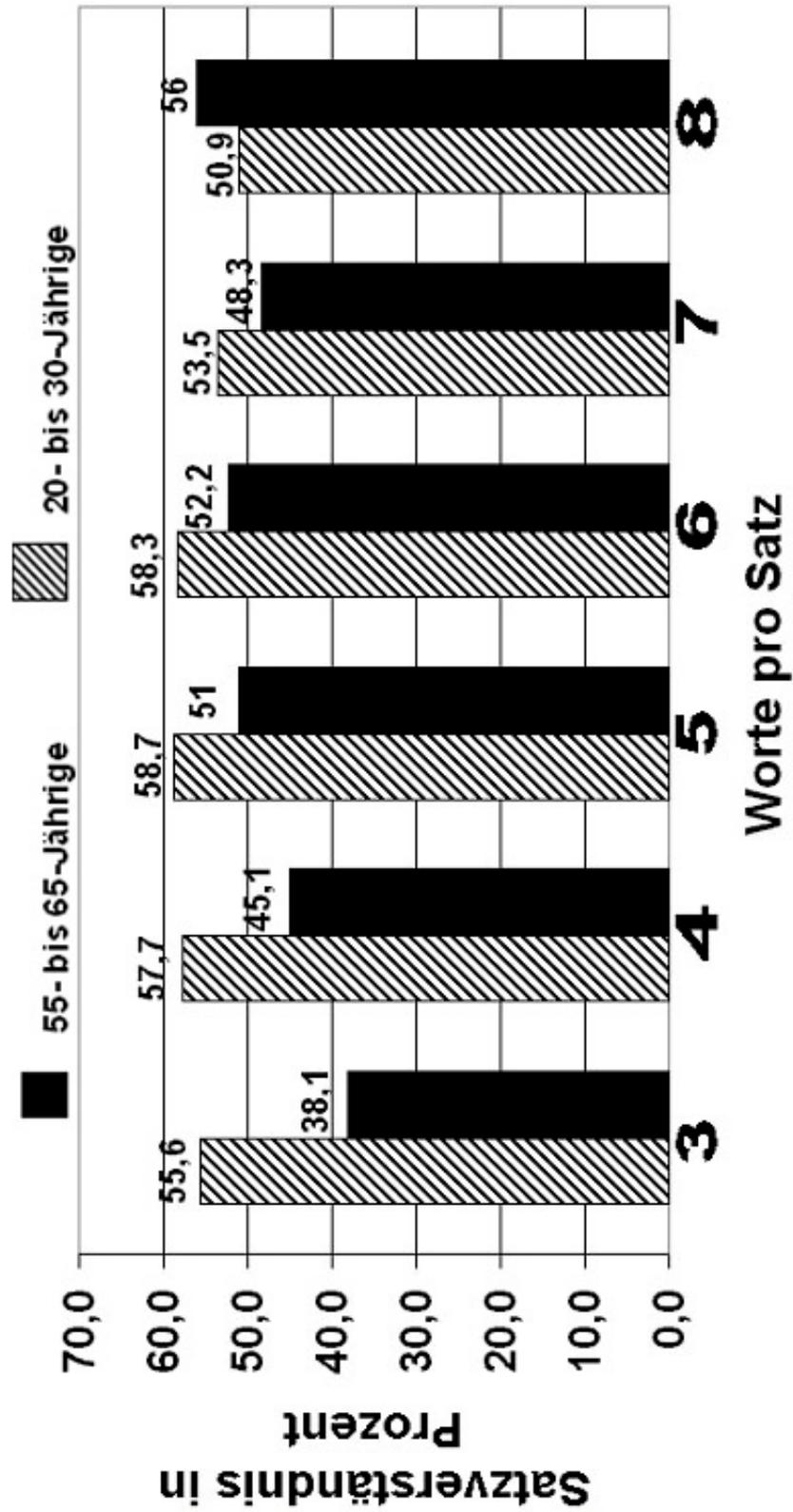
Anzahl Worte pro Satz	Satzverständnis (%)	S/N (dB)
3	55,6	-3,82
4	57,7	-3,48
5	58,7	-3,35
6	58,3	-3,52
7	53,5	-3,92
8	50,9	-3,66

Abbildung 8: Satzverständnis bei unterschiedlicher Satzlänge



Im Vergleich zu den älteren Probanden erweisen sich die Werte als sehr ausgeglichen. Einen Überblick verschafft Abbildung 9.

Abbildung 9: Vergleich der Altersgruppen (Satzverständnis zu Satzlänge)



4. Diskussion

4.1. Erläuterung der Békésy-Audiometrie als zugrundeliegendes Testverfahren

Es handelt sich bei diesem Versuchsaufbau, wie in der Einleitung bereits angedeutet, nicht um einen vollkommen neuartigen Ansatz. Schon 1947 hat Georg von Békésy ein audiometrisches Verfahren entwickelt, das in der Lage ist, automatisiert unter Einbeziehung des Probanden die Hörschwelle zu ermitteln (11). Diese Schwellenmessung ist sowohl bei frequenzgleitender als auch bei frequenzkonstanter Audiometrie möglich. Bei der Békésy-Audiometrie mit kontinuierlicher Frequenzänderung ist ein Motor zur kontinuierlichen, stufenlosen Durchföhrung des gesamten Frequenzbereichs von 100-10000 Hz und umgekehrt von den hohen zu den tiefen Frequenzen vorhanden. Ein weiterer Motor verändert die Intensität. Die Richtung der Intensitätsänderung wird vom Patienten selbst gesteuert (4). Wenn der Patient einen Knopf drückt, ergibt das einen Anstieg des Schalldrucks. Sobald der Proband den vorgespielten Ton hört, lässt er den Knopf los, und der Schalldruck beginnt kontinuierlich zu fallen. Wenn er feststellt, dass er den Ton nicht mehr hört, betätigt er wieder den Knopf, woraufhin der Schalldruck erneut ansteigt (1,2,35). So ist der Patient in der Lage, ständig die Lautstärke zwischen einem gerade noch hörbarem und einem nicht mehr hörbarem Pegel zu bewegen (1,4). Ein Schreiber zeichnet automatisch die Reaktionen des Patienten nach Frequenz und Intensität auf einem vorgedruckten Formular auf. In Abbildung 10 kann der Aufbau eines Békésy-Audiometers nachvollzogen werden (1). Aufgrund der entscheidenden Rolle, die der Proband hierbei einnimmt, wird eine solche Methode oft auch als „subjektive Hörprüfung“ bezeichnet (4).

Abbildung 10: Békésy-Audiometer

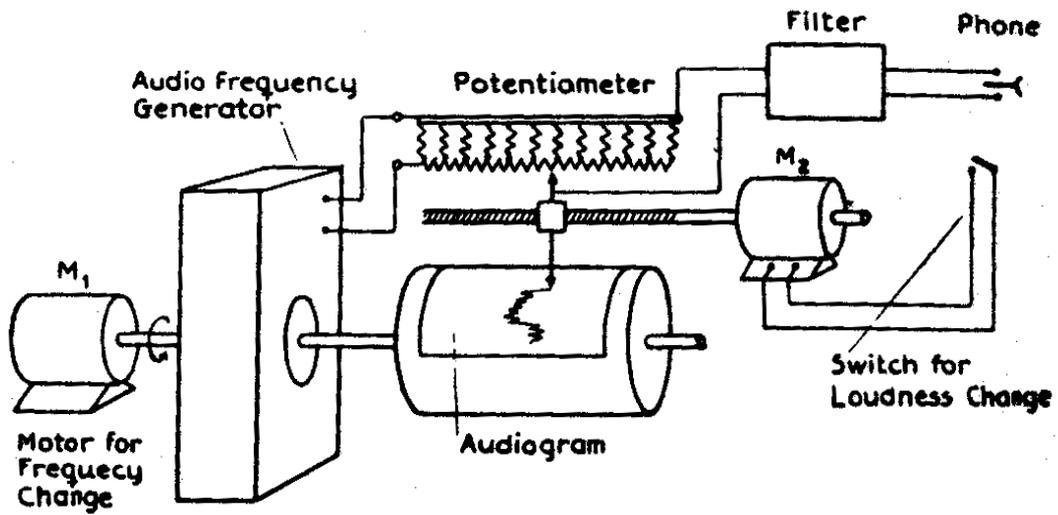
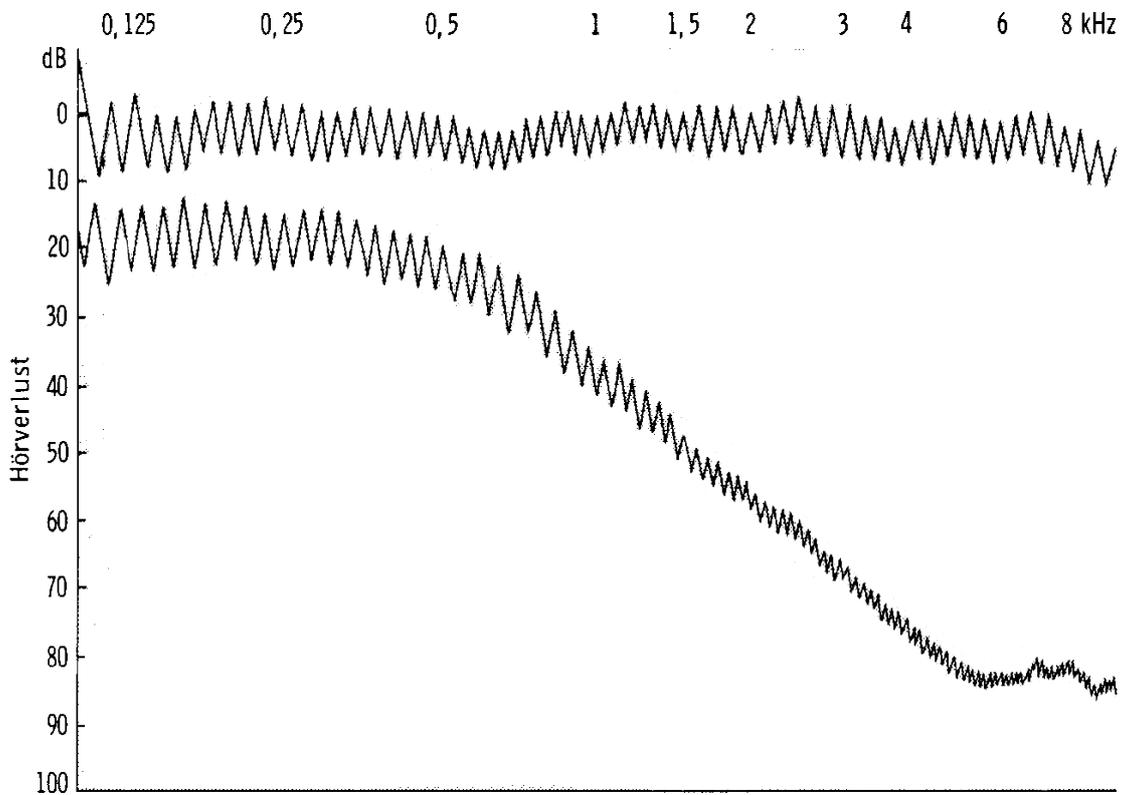


Abbildung 11: Békésy-Audiogramm



In Abbildung 11 sieht man ein typisches Békésy-Audiogramm (4). Die Kurven haben normalerweise einen sägezahnartigen Verlauf. Die obere Kurve ist repräsentativ für ein normales Gehör, die untere für eine Schallempfindungsstörung bei den hohen Frequenzen. Die bei dem Hörverlust auffällig kleinen Zacken sind charakteristisch für ein positives Rekrutment. Der Ton wird entweder als Dauer- oder als Impulston eingespielt. Im Allgemeinen sind beide Kurven annähernd identisch, allerdings können sie bei neural oder sensorisch Schwerhörigen deutlich voneinander abweichen, d.h. die Békésy-Audiometrie lässt Rückschlüsse auf die Art der Schwerhörigkeit zu (11,25). Wenn zum Beispiel bei Hörermüdung die Dauertonkurve mehr als 30 dB unter die Impulstonkurve fällt, so spricht dies für eine neurale Schädigung, da sich bei der pathologischen Hörermüdung das Ohr beim Impulston ständig wieder erholen kann. Dahingegen kommt es beim Dauerton durch die Ermüdung zu einer ständigen Verschlechterung der Dauertonhörschwelle (32).

Bei der frequenzkonstanten Békésy-Audiometrie wird die Hörschwelle in einer oder mehreren Frequenzen nacheinander bestimmt. Die Hörschwelle wird ebenfalls einmal mit gepulstem Ton und anschließend mit einem Dauerton ermittelt. Bei der Auswertung betrachtet man einerseits die Amplitude der Zacken und die Unterschiede zwischen der Hörschwelle für Impuls- bzw. Dauertöne (25).

4.2. Ermittlung der Sprachverständlichkeit

Mit dem Sprachverständnistest wird das Diskriminationsvermögen des Probanden getestet. Das Ergebnis hängt davon ab, wie gut er die einzelnen Sprachlaute hört. Der Prüfreiz, also spezifische Frequenzmuster, wird in Form sinnvoller Worte angeboten. Auf diese Weise kann in der Einheit prozentuales Wortverständnis gerechnet werden (5).

Im Gegensatz zur Sprachaudiometrie mit Zahlwörtern und einsilbigen Hauptwörtern, die über Kopfhörer jedem Ohr einzeln angeboten wird, erfolgt

die Prüfung des Satzverständnisses über Lautsprecher im freien Schallfeld, da die natürliche Sprachaufnahme auch über beide Ohren gleichzeitig stattfindet (16). Die Unzulänglichkeit von Zahlen- und Einsilbertests bei Hochtonschwerhörigen wurde schon vor vielen Jahren (Niemeyer 1969, Sauer 1972, u.a.) von unterschiedlichen Seiten bemängelt, da es nicht möglich ist, aus dem Diskriminationsvermögen für einsilbige Wörter Rückschlüsse auf alltägliche Verständigungsprobleme von Schwerhörigen zu ziehen (27). Das heißt also, die Sprachaudiometrie mit Sätzen kommt der Wirklichkeit näher als diejenige mit Zahlen oder Wörtern (11).

Wie bereits eingangs erwähnt, muss, um Alltagssituationen möglichst realistisch nachzuahmen und dadurch die Diskriminationsfähigkeit von Schwerhörigen besser einschätzen zu können, das Satzverständnis außerdem im Geräusch getestet werden (11). Denn der Hochtonschwerhörige ist oftmals schon bei mittleren Störschallpegeln sehr beeinträchtigt, auch wenn er in einem ruhigen Umfeld praktisch nicht eingeschränkt ist. Dies ist eine Erkenntnis, auf die schon von vielen verschiedenen Seiten hingewiesen wurde (26, 33). Kommt das Geräusch allerdings nur aus derselben Schallquelle wie die Sprache, ist die Wirklichkeit nicht natürlich genug imitiert. Die Zuspiegelung des Geräusches muss noch zusätzlich aus einer zweiten Schallquelle erfolgen (11). Diese Vorgaben sind in diesem Versuchsaufbau erfüllt.

Die Versuche wurden an 25 Probanden vorgenommen. Allerdings musste, wie bereits erwähnt, ein Proband aus den statistischen Berechnungen herausgenommen werden, da er zu starke Abweichungen von dem restlichen Probandenkollektiv aufwies. Deutlich wurde die zu starke Abweichung bei der Berechnung der Koeffizienten im Rahmen der Regressionsanalyse. Für die lineare Gleichung $y = m * x + t$, wobei der y-Wert mit 50 % festgelegt wurde, ergaben sich zwei Koeffizienten, welche die Steigung der Geraden (m) sowie die Konstante (t) darstellten. Mit dem Wert 2,81 lag der Proband weit unter den Steigungen der übrigen Probanden. Eine geringe Steigung für die Regressionsgerade bedeutet eine schlechte Korrelation zwischen dem Signal-Rausch-Abstand und dem beobachteten Satzverständnis. Der Proband zeigte folglich bei gleichen S/N-Abständen eine inkonstante Verständnisleistung. Die

Korrelationskoeffizienten sind abgebildet unter 3.1.

Die durchschnittliche Satzverständnisschwelle (= SRT), die dem 50%igen Satzverständnis entspricht, lag in diesem Versuchsaufbau mit den 24 normalhörenden Probanden bei einem Signal-Rausch-Abstand von -4,7 dB. Dabei bestand eine Spannweite von 4,8 dB, bei einem Minimum von -1,7 dB und Maximum von -6,5 dB.

Der durchschnittliche Signal-Rausch-Abstand im gesamten Testablauf betrug -3,5 dB. Es bestand hierbei kein signifikanter Unterschied zwischen linkem Ohr (-3,4 dB) und rechtem Ohr (-3,6 dB).

Strohmaier (28) kam in seiner Arbeit unter Verwendung des Innsbrucker Satztests in der HSM-Edition bei Normalhörenden zu deutlich anderen Ergebnissen. Die durchschnittliche Sprachverständnisschwelle lag bei seinen Untersuchungen für 60 dB Störpegel bei -10 dB Sprach-Rausch-Abstand und für 80 dB bei -14 dB. Hingegen wurde in dieser Arbeit für 60 dB ein Signal-Rausch-Abstand von -3,2 dB und für 80 dB einer von -5,8 dB ermittelt. Diese Differenz ist unter Umständen durch die Verwendung einer anderen Messmethode zu erklären. In dem Versuchsaufbau von Strohmaier wurde die Sprache von frontal und der Störlärm von beiden Seiten in einer 45°-Positionierung der Lautsprecher - von der Blickachse des Probanden aus - angeboten. In unserem Aufbau hingegen, wie bereits angesprochen, wurde der Stör- und Nutzschall zusammen aus einem Lautsprecher angeboten, wobei die Lautsprecher ebenfalls im 45°-Winkel positioniert waren. Auch andere, wenn auch nur geringe Veränderungen des Versuchsaufbaus könnten Unterschiede in den gemessenen Sprachverständnisschwellen nach sich ziehen.

Der Signal-Rausch-Abstand bei 50%igem Satzverständnis stellt sich als normalverteilt nach Kolmogorov dar (17).

Im Vergleich zu der durchschnittlichen Sprachverständnisschwelle der Altersgruppe zwischen 55 und 65 Jahren, deren Untersuchung von meinem Kollegen Romanos (21) durchgeführt wurde, kann man feststellen, dass die S/N-Abstände bei 50%igem Satzverständnis erwartungsgemäß voneinander abweichen. Der Mittelwert der älteren Gruppe beträgt +0,3 dB. Dies lässt sich durch die normalen Diskriminationsverluste im Rahmen der Alters-

schwerhörigkeit erklären.

4.3. Selbsteinschätzung bei 50 % gezählt

Bei der statistischen Auswertung der Selbsteinschätzungen der Probanden kam es zu folgenden Ergebnissen:

Bei dem 50%igen Satzverständnis schätzten sich die Probanden durchschnittlich auf 48,0 % ein, d.h. sie unterschätzten sich etwas. Allerdings handelt es sich hierbei um eine sehr gute Einschätzung. Es wurde hier ebenfalls eine Normalverteilung ermittelt. Die Spannweite reicht von 38,8 % bis hin zu 56,3 %.

Im Laufe der Testdurchführung wurde deutlich, wie sehr unterschiedliche Faktoren (z. B. Wissen, frühere Erlebnisse, Motivation, etc.) die Wahrnehmung von Umwelteinflüssen modifizieren können, also mitbestimmen, was jede einzelne Person wahrnimmt (22). So wurde bei den Antworten der Probanden oft deutlich, womit sie sich gerade vor dem Hörtest beschäftigt hatten. Dies wurde dann in Assoziationen eingebaut. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass ein gutes Kombinationsvermögen und Situationsverständnis ein relativ schlechtes Gehör eines Probanden ausgleichen kann (10). Denn durch die Fähigkeit zum so genannten „logischen Gehör“ hat der Proband immer noch die Möglichkeit zur Elimination von unwahrscheinlichen Lösungen und zur Zuhilfenahme von Verschlüsselungsregeln, die im Sprachbau wirksam sind (9).

Nach Schlöndorff et al. (23) wird das Sprachverstehen in drei Komponenten eingeteilt. Die Aufnahme des Gehörten durch das Ohr entspricht dem Sprachhören, d.h. Perzeption von Sprache. Das Gehörte wird dann Begriffen der inneren Sprache zugeordnet. Dies entspricht dem Sprachverstehen, d.h. der Apperzeption. Die letzte Komponente, die Sinnverarbeitung erfordert wie das Sprachverstehen einen zentralen Aufwand.

Dieser ist beeinflussbar von psychologisch wirksamen Faktoren wie Konzen-

trationsfähigkeit, der aktuellen psychischen Verfassung, der Motivation etc. Der Proband mit der Selbsteinschätzung von 38,8 % unterschätzt sich um 10 % und liegt somit außerhalb der doppelten Standardabweichung. Der nächstgelegene Proband schätzt sich bereits mehr als 2 % besser ein. Deshalb ist es durchaus lohnenswert, nach einer Erklärung für diese starke Abweichung zu suchen. Da der betreffende Proband einer interessanten Freizeitbeschäftigung nachgeht, die indirekt ebenfalls auf die zentrale Verarbeitung Einfluss haben könnte, lässt dieses Ergebnis Platz für eine hypothetische Erklärungsmöglichkeit. Der Proband ist halbprofessioneller Musiker, nämlich Sänger in einer HipHop-Band, und trainiert zu diesem Zweck seit Jahren eine Sprechgesangstechnik, die keine fertigen Liedtexte beinhaltet, sondern auf assoziativen Reimen beruht. Dadurch vermag er in Bruchteilen einer Sekunde, Dinge in seinem Blickfeld zusammen mit Assoziationen zu fertigen Reimtexten zu verknüpfen. Seine trainierte Assoziationsgabe könnte es ihm ermöglicht haben, seiner negativen Ersteinschätzung doch noch den kompletten Satz folgen zu lassen, so dass sich der Eindruck ergibt, der Proband schätze sich zu schlecht ein. Diese Hypothese lässt sich aber selbstverständlich mit den vorhandenen Daten nicht ausreichend untermauern und muss hier Spekulation bleiben.

Wieder im Vergleich mit der Altersgruppe der 55- bis 65-Jährigen konnte man feststellen, dass praktisch keine Unterschiede in der Selbsteinschätzung zu den jungen Probanden vorhanden waren. Diese schätzten sich bei 50%igem Satzverständnis auf 48,9 % ein (21).

4.4. Vergleich der Satzverständlichkeit bei rechter und linker Signalseite

Bei dem statistischen Vergleich des linken und des rechten Ohrs konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Dies entspricht den Erwartungen, da ausschließlich normalhörende Probanden untersucht wurden.

4.5. Vergleich der Satzverständlichkeit in Bezug auf die unterschiedliche Anzahl der Wörter pro Satz

Bei der genaueren Betrachtung des durchschnittlichen Verständnisses der einzelnen Sätze mit unterschiedlicher Anzahl von Wörtern waren die Ergebnisse sehr ausgeglichen.

Die Sätze mit acht Wörtern pro Satz wurden relativ gesehen am schlechtesten verstanden mit 50,9 %, die Sätze mit fünf Wörtern pro Satz mit 58,7 % am besten. Dies stellt keinen signifikanten Unterschied dar.

Bei dem Vergleich mit den älteren Probanden konnte man beobachten, dass diese große Schwierigkeiten mit den ganz kurzen Drei-Wort-Sätzen hatten und hier deutlich unter den Ergebnissen der jungen Probanden lagen.

Ihr Satzverständnis steigerte sich dann mit zunehmender Anzahl von Wörtern pro Satz. Über die Gründe für diese Unterschiede kann man nur spekulieren. Möglicherweise beruht der Unterschied auf dem altersbedingten Diskriminationsverlust der Probanden um die 60 Jahre und infolgedessen auf der höheren Abhängigkeit vom Kontext innerhalb eines Satzes, so dass die kurzen Sätze schlechter verstanden werden (21).

4.6. Vergleich der Békésy-Audiometrie mit dem verwendeten Versuchsaufbau

In der vorliegenden Doktorarbeit wurde das Prinzip des Békésy-Audiometers der Tonaudiometrie in die Sprachaudiometrie übertragen. Der Proband und seine Einschätzung spielen eine beachtliche Rolle, da er bei der Békésy-Audiometrie durch Betätigen und Loslassen des Schalldruckreglers mit Hilfe des Audiometers seine Hörschwelle selbst ermittelt.

Bei dem hier verwendeten Versuchsaufbau wirkt der Proband insofern mit, als er durch seine Einschätzung der eigenen Hörleistung die Lautstärke des Testmaterials beeinflusst und dadurch automatisch die 50%ige Sprachverständnisschwelle festgelegt wird. Auch Plomp und Mimpen haben schon zur Ermittlung der Sprachverständlichkeitsschwelle eine ähnliche Herangehensweise untersucht (20). Sie modifizierten die Auf-und-Ab-Reguliermethode nach Levitt für Satztests. Dabei wurde bei gleichbleibendem Lärmpegel der Sprachpegel erhöht, solange der Satz nicht verstanden wurde und erniedrigt, sobald der Proband den Satz korrekt wiedergab. Da dem Probanden allerdings nur die Antwortmöglichkeiten „alles verstanden" und „nichts verstanden" zur Verfügung stehen, handelt es sich hierbei im Vergleich zu diesem Versuchsaufbau um ein deutlich vereinfachtes Verfahren.

Die angestellten Untersuchungen haben ergeben, dass die Probanden in der Lage sind, ihr objektiv ermitteltes Hörvermögen relativ genau einzuschätzen, womit bei zukünftigen Entwicklungen die subjektive Sicht der Patienten stärker einbezogen werden könnte, z. B. im Rahmen von Hörgeräteanpassung. Hierauf wird aber noch gesondert eingegangen. Dazu wären allerdings weitere Untersuchungen speziell mit hörgeschädigten Probanden nötig.

Prinzipiell wäre auf der Basis dieses Versuchsaufbaus eine Apparatur denkbar, bei der der Patient die Möglichkeit hat, zwischen vier Tasten zu wählen, die „Alles", „Viel", „Wenig" bzw. „Nichts verstanden" repräsentieren. Verbunden mit einem PC, der je nach Tastendruck des Patienten die Lautstärke er-

höht bzw. erniedrigt und dann automatisch die Sprachverständlichkeitsschwelle ermittelt, könnte ein solches Gerät eine enorme Zeitersparnis und methodische Vereinfachung für den Untersucher bedeuten. Dessen Anwesenheit wäre nicht während des gesamten Testablaufs erforderlich, sondern nur, um den Patienten einzuweisen und Sorge zu tragen, dass dieser den Testvorgang korrekt verstanden hat. Gerade bei Screening-Untersuchungen könnte diese Apparatur einen großen Vorteil bedeuten.

4.7. Die Bedeutung der Audiometrie in der Industrie

In der Industrie ist der Schutz der Beschäftigten vor Lärmschäden eine arbeitsmedizinische Herausforderung. Die Audiometrie spielt deshalb in diesem Bereich eine wichtige Rolle. Im Vergleich zu manuellen Tonaudiometern und auch dem frequenzkonstanten Békésy-Audiometer, das früher eine bedeutende Rolle im industriellen Bereich gespielt hat, gewinnen automatische, computergestützte Verfahren heutzutage immer mehr an Bedeutung. Zwar haben die manuellen Verfahren den Vorteil größerer Flexibilität und leichter Verständlichkeit für die Probanden, jedoch haben auch die automatisierten, computergestützten Verfahren nicht zu unterschätzende Vorteile: Der automatische Ablauf lässt sich bei Untersuchungen von größeren Probandengruppen, also als Screening-Verfahren, sinnvoll einsetzen. Zusätzlich haben die computergestützten Audiometer noch den Vorteil, die Testzeit erheblich zu verkürzen. Ebenso vereinfachen sie die Datenspeicherung und Verarbeitung, da moderne Speichersysteme auch enorm große Mengen in handlicher, leicht zugreifbarer Form archivieren, so dass notwendige Vergleiche mit früheren Testergebnissen leichter herstellbar sind (14).

Von verschiedenen Seiten wurde schon die stärkere Einbindung von Computertechnologie in die Audiometrie gefordert, so zum Beispiel von Wedel (31) oder auch von Moser (15) im Bereich der Hörgeräteversorgung. Auch der hier verwendete Versuchsaufbau nutzt die Möglichkeiten, welche die moderne

Computertechnologie bietet. Es ist zu erwarten, dass die aus der Computertechnologie erwachsenden Fortschritte die Audiometrie der Zukunft prägen werden.

4.8. Bedeutung des Versuchsaufbaus für die Hörgeräteanpassung und -versorgung

Es ist denkbar, dass der hier verwendete, bzw. noch weiterzuentwickelnde Versuchsaufbau Ausgangspunkt für die Entwicklung von Audiometern sein könnte, die auch für die Hörgeräteanpassung und -versorgung eine Verbesserung mit sich bringen dürfte. Um den Erfolg einer Hörgeräteanpassung richtig einschätzen zu können, scheint es nämlich wichtig das Augenmerk nicht nur auf die audiometrisch ermittelten Ergebnisse zu richten, sondern auch auf das subjektive Hörempfinden des Hörgeräteträgers. Häufig werden die vom Untersucher objektiv als optimal ermittelten Geräte von den Trägern nicht als angenehm empfunden und aus diesem Grund abgelehnt. Jedoch erfordert gerade das Tragen von Hörgeräten eine gute Compliance seitens der Patienten. Das subjektive Hörempfinden spielt für das alltägliche Kommunikationsvermögen und den persönlichen Hörkomfort eine nicht zu unterschätzende Rolle. Dies sind Elemente, die durch herkömmliche sprachaudiometrische Verfahren nicht erfasst werden können und Befragungen der Hörgeräteträger nach ihrem Hörempfinden werden leider häufig vernachlässigt (7).

Deshalb könnte die Standardisierung dieses Versuchsaufbaus dazu beitragen, die Qualität von Hörgeräten weiter zu steigern, da der Beurteilungsfaktor der persönlichen Empfindung von Hörgeräteträgern mit in die Anpassung eingeht. Eine auf diese Weise automatisierte und standardisierte Testapparatur würde einerseits zu einer qualitativen Verbesserung, andererseits aber auch zu einer deutlichen Zeitersparnis bei der Hörgeräteversorgung führen.

5. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es zum einen, den Signal-Rausch-Abstand bei 50%igem Satzverständnis unter Verwendung des HSM-Satztests mit CCITT-Störlärm bei 25 jungen, normalhörenden Probanden zu ermitteln. Zum anderen galt es festzustellen, wie die Probanden ihr Satzverständnis selbst beurteilten, und diese Einschätzungen mit den ermittelten Ergebnissen zu vergleichen, wodurch sowohl ein objektiver als auch ein subjektiver Parameter erfasst wurde. Hierbei wurde ein sprachaudiometrisches Verfahren verwendet, das sich eines bereits in der Tonaudiometrie von Békésy entwickelten Testverfahrens bedient. In dem Verfahren nach Békésy verändert der Patient selbstständig durch Betätigen und Loslassen eines Knopfes die Lautstärke des dargebotenen Tones und bestimmt hierdurch seine Hörschwelle. In dem hier verwendeten Versuchsaufbau wirkt der Proband insofern mit, als durch die eigene Einschätzung seiner Hörleistung die Lautstärke des dargebotenen Testmaterials zur Ermittlung der 50%igen Satzverständnisschwelle fortlaufend modifiziert wird.

Die wichtigsten Aussagen dieser Arbeit waren einerseits, dass die Signal-Rausch-Abstände der jungen, normalhörenden Probanden bei einem 50%igen Satzverständnis normalverteilt waren. Andererseits stellte sich heraus, dass die Probanden mit ihrer Selbsteinschätzung im Durchschnitt mit 48,0 %, bei einem tatsächlichen 50%igen Satzverständnis sehr nahe an das objektiv ermittelte Ergebnis herankamen.

Prinzipiell wäre auf der Basis dieses Versuchsaufbaus ein ähnlich automatisiertes Verfahren wie bei der Békésy-Audiometrie denkbar, da gemäß den Ergebnissen des hier untersuchten Kollektivs objektives Hörverständnis und subjektive Einschätzung eng beieinander liegen. Dieses würde eine erhebliche Zeitersparnis und methodische Vereinfachung für den Untersucher bedeuten. Insbesondere gilt dies für Screening-Untersuchungen.

Dieses Verfahren könnte auch für die Hörgeräteanpassung und -kontrolle eine Bereicherung darstellen, da hierbei das subjektive Hörempfinden stärkere Be-

achtung findet, welches sehr wichtig für den alltäglichen Tragekomfort und damit der Compliance des Patienten ist.

Diese Dissertation könnte als Ausgangspunkt für weitere Arbeiten genutzt werden, welche prüfen könnten, inwieweit sich die Ergebnisse dieser Dissertation bei Schwerhörigen und Hörgeräteträgern reproduzieren lassen.

6. Literaturverzeichnis

- (1) v. Békésy, G. (1947): A new audiometer.
Acta Oto-Laryngologica 35: 411-422
- (2) v. Békésy, G. (1970): Physiologie der Sinneshemmung.
1. Auflage, Wilhelm Goldmann Verlag, München
- (3) Billich, P. (1981): Heidelberger CVC-Audiometrie-Entwicklung und Erprobung.
1. Auflage, Median-Verlag, Heidelberg
- (4) Feldmann, H. (1979): Audiometrie bei Erwachsenen.
In Berendes, J., Linke, R., Zöllner, F.: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde in Praxis und Klinik, Band 5: Ohr 1
2. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart
- (5) Hahlbrock, K.-H. (1970): Sprachaudiometrie.
2. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart
- (6) Immich, H. (1974): Medizinische Statistik.
1. Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart
- (7) Kinkel, M. (2001): Hörgeräte.
In Lehnhardt, E., Laszig, R.: Praxis der Audiometrie.
8. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart

- (8) Klinke, R. (1996): Hören und Sprechen: Kommunikation des Menschen.
In Klinke, R. und Silbernagl, S.: Lehrbuch der Physiologie.
2. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart
- (9) Kloster-Jensen, M. (1974): Die Testwörter der Sprachaudiometrie.
Z.f. Hörgeräte Akustik, 13. Jahr, Nr. 1: 158-173
- (10) Langenbeck, B. (1956): Leitfaden der praktischen Audiometrie.
2. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart
- (11) Lehnhardt, E. (2001): Sprachaudiometrie.
In Lehnhardt E., Laszig, R. (2001): Praxis der Audiometrie.
8. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart
- (12) Lyregaard, P. (1987): Towards a Theory of Speech Audiometry Tests.
In Martin, M.: Speech Audiometry.
1. Auflage, Taylor & Francis, London
- (13) Manger Products: Präzision in Schall.
Technische Informationen des Herstellers
- (14) Melnick, W. (1994): Industrial Hearing Conservation.
In Katz, J.: Handbook of clinical Audiology.
3. Auflage, Williams & Wilkins, Baltimore
- (15) Moser, L. (1991): High Tech und niedriges Ansehen.
Audiologische Akustik 4/91: 118-119

- (16) Niemeyer, W. (1979): Kleines Praktikum der Audiometrie.
3. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart
- (17) Ostermann, R. (1999): Statistik.
1. Auflage, Oldenbourg Verlag, München
- (18) Plath, P., Stühlen, H.-W., Graf, H., Pelzer, H. (1973): Untersuchungen
über die Verständlichkeit einer Neuaufnahme des Freiburger Sprach-
tests.
Z.f. Laryngologie Rhinologie Otologie 52: 457-469
- (19) Platte, H.J., Döring, W.H. und Schlöndorff, G (1978):
Richtungshören und Sprachverstehen unter Störschalleinfluß bei "Nor-
malhörenden".
Z.f. Laryngologie Rhinologie Otologie 57: 672-680
- (20) Plomp, R., Mimpen, A.M. (1979): Speech reception threshold for sen-
tences as a function of age and noise level.
J. of the Acoustical society of America 66: 1333-1342
- (21) Romanos, M.: Dissertation in Vorbereitung
- (22) Schick, A. (1979): Schallwirkung aus psychologischer Sicht.
1. Auflage, Klett, Stuttgart
- (23) Schlöndorff, G. und Tegtmeier, W. (1971): Ein audiometrischer Test zur
Bestimmung des zentralen Aufwands beim Sprachverstehen.
Z. f. Laryngologie Rhinologie Otologie 50: 663-667

- (24) Schmidt, R.F. und Thews, G. (1995): Physiologie des Menschen.
6. Auflage, Springer, Heidelberg
- (25) Schorn, K. und Stecker, M. (1994): Hörprüfungen.
In Naumann, H.: Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis, Bd.1.
Ohr.
1. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart
- (26) Schulz-Coulon, H.-J. (1973): Über die Bedeutung des Umweltgeräusches für den Hochtonschwerhörigen.
HNO 21: 26-32
- (27) Schulz-Coulon, H.-J. (1974): Sprachaudiometrie mit Sätzen und Geräusch.
Z. f. Laryngologie Rhinologie Otologie 53: 734-749
- (28) Strohmaier, C. (1998): Sprachverstehen im Störlärm mit dem Innsbrucker Satztest in der HSM-Edition auf Compact- Disc bei Normalhörenden.
Medizinische Dissertation Würzburg
- (29) Warren, R. (1999): Auditory Perception.
1. Auflage, Cambridge University Press, Cambridge
- (30) Wedel, H. (1986): Untersuchungen zur Sprachdiskrimination bei umweltspezifischen Störgeräuschen.
Z.f. Laryngologie Rhinologie Otologie 64: 430-435
- (31) v. Wedel, H. (1986): Entsprechen die sprachaudiometrischen Untersuchungsverfahren den heutigen Anforderungen in Klinik und Praxis?
HNO 34: 71-74

- (32) Weerda, H. (1994): Hals-Nasen-Ohrenheilkunde.
2. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- (33) Welzl-Müller, K. (1981): Der Einfluß des Störlärms auf die Satzverständlichkeit.
Z. f. Laryngologie Rhinologie Otologie 60: 117-120
- (34) Zimmermann, M. (2000): Sprachverstehen im Störlärm mit HSM-Satztest (Hochmeier, Schultz, Moser) bei Hörgeräteträgern zum Vergleich der Satzgruppen.
Medizinische Dissertation Würzburg
- (35) Zwicker, E. und Fastl, H. (1999): Psychoacoustics.
2. Auflage, Springer, Heidelberg

Mein herzlicher Dank gilt Dipl.- Ing. Moser für die exzellente Betreuung. Herrn Möltner danke ich sehr für die Unterstützung bei Computerproblemen und Frau Koch für die Hilfe bei organisatorischen Fragen.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Jasmin Wegener
Geburtsdatum	26.03.1976
Geburtsort	Würzburg
Konfession	röm.-kath.
Familienstand	ledig

Schulbildung

1982-1986	Johannes-Kepler-Schule Würzburg
1986-1995	Riemenschneider-Gymnasium Würzburg

Hochschulbildung

1995-1997	Vorklinisches Studium an der Universität Würzburg
8/1997	Ärztliche Vorprüfung
3/1999	Erstes Staatsexamen
3/2001	Zweites Staatsexamen
04-08/2001	1.PJ-Tertial, Innere Medizin, Universitätsspital Zürich, Schweiz
08-12/2001	2.PJ-Tertial, Chirurgie, Hospital de Santa Maria, Lissabon, Portugal
12/01-03/02	3.PJ-Tertial, Neurologie, Universitätsklinik Würzburg
06/2002	Drittes Staatsexamen
seit 12/2002	Ärztin im Praktikum in der Psychiatrie Schloss Werneck

