

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten  
der Universität Würzburg  
Direktor: Professor Dr. med. J. Helms

**Bestimmung des Sprache/Rauschen-Verhältnisses für den  
HSM-Satztest 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 55 bis 65jährige Probanden**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg  
vorgelegt von  
Marcel Romanos  
aus Würzburg

Würzburg, Dezember 2003

Referent: Professor Dr. med. J. Helms

Koreferent: Professor Dr. med. F. Schardt

Dekan: Professor Dr. med. S. Silbernagl

Tag der mündlichen Prüfung: 06.02.2004

Der Promovend ist Arzt.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>	
1	Einleitung	1
1.1	Presbyakusis und Altersschwerhörigkeit	1
1.2	Die Problematik der pathogenetischen Zuordnung	3
1.3	Zielstellung	4
2	Material und Methodik	6
2.1	Testmaterial	6
2.1.1	Der HSM-Test	6
2.1.2	Systematik in der Darbietung der Sätze	7
2.2	Audiometeranlage	10
2.3	Software	10
2.4	Probanden	12
2.5	Messraum und Aufbau	12
2.6	Durchführung	13
3	Ergebnisse	14
3.1	Signal/Rausch-Abstand bei 50% Satzverständnisschwelle	14
3.1.1	Werte	14
3.1.2	Test auf Normalverteilung	17
3.2	Selbsteinschätzung im Vergleich zur ausgezählten Hörleistung	19
3.2.1	Werte	19
3.2.2	Test auf Normalverteilung	21
3.3	Signal/Rausch-Abstand und Satzverständnis bei unterschiedlicher Satzlänge	22
3.4	Signal-Rausch-Abstand bei 60dB und 80dB Noise	24
3.5	Signal-Rausch-Abstand im Seitenvergleich	25
3.6	Vergleiche mit dem jungen Probandenkollektiv	25
3.6.1	Vergleich der Signal-Rausch-Abstände bei SRT	26
3.6.2	Vergleich der Selbsteinschätzung bei SRT	29
3.6.3	Vergleich des Satzverständnisses bei unterschiedlicher Satzlänge	31

4	Diskussion	33
4.1	Die Rolle der Selbsteinschätzung für den verwendeten Sprachverständnistest	33
4.2	Gehirnphysiologische Verarbeitungsprinzipien von Sprache	34
4.3	Signal/Rausch-Abstand bei SRT	37
4.4	Signal/Rausch-Abstand bei unterschiedlichem Lärmpegel	39
4.5	Signal/Rausch-Abstand bei unterschiedlicher Satzlänge	39
4.6	Ausblick auf Anwendungsmöglichkeiten und weitere Arbeiten	40
5	Zusammenfassung	42
6	Literaturverzeichnis	43

## 1 Einleitung

### 1.1 Presbyakusis und Altersschwerhörigkeit

Aus eigener Erfahrung kann jeder nachvollziehen, wie wichtig das Gehör im Alter ist. Auch wenn die Sehkraft bereits nachgelassen hat, auch wenn die Mobilität eingeschränkt sein sollte, das Gehör, zusammen mit der Fähigkeit zur Sprachproduktion, erhält dem Menschen die Möglichkeit zur Kommunikation mit anderen. Wenn auch das Gehör versagt, so drohen Isolation und sozialer Rückzug. Ist die betroffene Person noch berufstätig, so sind auch am Arbeitsplatz Misserfolge mit den psychologischen Konsequenzen zu befürchten. (12) In Deutschland ist die Bevölkerungspyramide längst zugunsten der älteren Generation deformiert. (35) Mit dem prozentualen Anstieg des Durchschnittsalters steigt ebenso Anzahl derer, die aufgrund ihres altersbedingten Höchtonverlusts ein Hörgerät benötigen. Will man nun ein adäquates Instrument schaffen, mit dem die Kommunikationseinschränkung quantifizierbar und ihre Verbesserung qualifizierbar wird, so muss man sich der Sprachaudiometrie bedienen, da eben der hierdurch messbare Verlust des Sprachverständnisses die eigentliche soziale Problematik bedingt und die Betroffenen veranlasst, sich der Hilfe eines Hörgerätes zu bedienen.

Auf die Tatsache, dass das Gehör im Alter nachlässt, kann in zweifacher Weise eingegangen werden. Zum einen existiert eine physiologische Hörminderung des Alters, die Presbyakusis im engeren Sinne. Dem gegenüber steht die als pathologisches Geschehen zu wertende Altersschwerhörigkeit, welche verursacht ist durch eine Fülle von schädigenden Einflüssen. (15) Es ist nicht schwer vorstellbar, wie deren Akkumulation im Alter zu schweren Kommunikationsproblemen führen kann und infolgedessen die soziale Situation von isolierten älteren Menschen verschärft oder gar bedingt wird.

Im Gegensatz zu der oben erläuterten Einteilung werden beide Formen, also die Presbyakusis und Altersschwerhörigkeit, im angloamerikanischen Sprachgebrauch unter dem Namen presbycusis zusammengefasst. (10)

Da der Grad der Einschränkung einer sehr großen Variabilität unterworfen ist,

so dass sie sogar ohne erkennbaren Effekt bleibt, kann man schlussfolgern, dass die physiologische Involution der am primären Hörvorgang beteiligten Strukturen vergleichsweise geringe audiometrisch messbare Wirkung haben muss. (15) In der Literatur wird sogar die Meinung vertreten, dass die physiologische Presbyakusis keine Effekte in Sprachverständnistests bewirken darf, so dass jeder Diskriminationsverlust als krankhaft anzusehen ist. (23)

Hörkurven von afrikanischen Testgruppen, bei denen akkumulative Noxen weitestgehend ausgeschlossen werden konnten, zeigen deutlich bessere Ergebnisse als amerikanische Vergleichsgruppen, so dass die afrikanischen Hörkurven als Spiegel der reinen Presbyakusis betrachtet werden können. Weitere Messungen sprechen für eine genetisch definierte Involution an cochleären Strukturen bzw. an versorgenden Blutgefäßen, die schon in frühen Jahren nachzuweisen und derer altersabhängige Progredienz zu beobachten ist. (15)

Nach Art der Schädigung lassen sich die vier Typen der Altersschwerhörigkeit nach Schuknecht (30, 31, 10) unterscheiden. Je nach Ort und Mechanismus der Schädigung sind unterschiedliche klinische Auswirkungen zu beobachten. In Tabelle 1 sind die Typen der Altersschwerhörigkeit erläutert.

<b>Typ</b>	<b>Ort der Schädigung</b>	<b>Wirkung</b>
<b>sensorisch</b>	Haarzelldegeneration am basalen Ende der Cochlea	Hochtonabfall
<b>neural</b>	Ganglienzelldegeneration	schlechtes Sprachverständnis
<b>metabolisch</b>	Atrophie d. Stria vascularis	Hörschwellenanhebung für alle Frequenzen
<b>Innenohr-Schalleitungstyp</b>	Versteifung der Basilarmembran	Hochtonabfall

**Tabelle 1:** Typen der Presbyakusis nach Schuknecht

Die pathologische Altersschwerhörigkeit hängt somit von der individuellen Exposition gegenüber exogenen und endogenen Noxen ab, von denen die Lärmbelastung als wichtigste zu nennen ist, jedoch auch chemische Schäden wie durch ototoxische Pharmaka, z. B. Aminoglykosid-Antibiotika (15, 6) oder die gefäßschädigende Wirkung von Nikotin. (15, 23) Die Arteriosklerose, die mit zu den wichtigsten Ursachen zählt, verdeutlicht die Schwierigkeit der pathogenetischen Zuordnung.

## **1.2 Die Problematik der pathogenetischen Zuordnung**

Zwar scheinen arteriosklerotische Mikrozirkulationsstörungen das Innenohr direkt beeinträchtigen zu können, jedoch können ebenso eine zentrale Arteriosklerose oder andere zentrale Zirkulationsstörungen zu einer funktionellen Beeinträchtigung des Sprachverständnisses führen. Eine derartige „neurologische“ Beteiligung konnte ich in der vorliegenden Versuchsreihe nicht mit Sicherheit ausschließen, zumal schon minimale zentrale Defekte oder funktionelle Störungen in spezifischen kortikalen Gebieten für entsprechende Ausfälle sorgen können, ohne dass der Betroffene sonstige neurologische Auffälligkeiten an den Tag legt. (23) Tatsächlich zeigt eine Studie von Stach, Spretnjak und Jerger, dass zwar das Auftreten zentral bedingter Presbyakusis mit dem Alter korreliert, dass jedoch das Vorhandensein von kognitiven Einbussen nicht das Vorhandensein von zentraler Presbyakusis bedingt und vice versa, dass das Vorhandensein einer zentralen Presbyakusis nicht zwingend die Anwesenheit anderer kognitiver Einbussen erfordert. (10)

An anderer Stelle wird die Diskriminationsfähigkeit mitunter als Indikator für zentrale Verarbeitungsstörungen betrachtet. (5, 7) Insofern lässt sich durch eine zentrale Beteiligung die Diskrepanz in den Ergebnissen von tonaudiometrischen im Gegensatz zu sprachaudiometrischen Messungen erklären. Die aufgrund des Tongehörs erwarteten Ergebnisse für die Prüfung des Sprachgehörs erweisen sich häufig als zu positiv eingeschätzt. Dies gilt

insbesondere für Hochtonschwerhörige wie es bei presbyakuten Patienten der Fall ist. (1, 30)

Weiterhin umfassen neurologische wie psychiatrische Syndrome Störungen der Sprachrezeption, einerseits solche, die das Verständnis selbst betreffen, z. B. die Multiple Sklerose oder bestimmte Demenzformen, andererseits jene, die das assoziative Verständnis beeinträchtigen können. (25, 3)

Es zeigt sich also, dass dem Sprachverständnis ein hochkomplexer Mechanismus zugrunde liegt, der auf zentraler Ebene prinzipiell andere Verarbeitungsprinzipien beinhaltet als dies beim Hören von vergleichsweise einfachen Geräuschen bzw. von Tönen bei Hörschwellenbestimmungen der Fall ist. Um Sprache zu verstehen, muss das Gehirn Leistungen vollbringen, die weit über denen liegen, die nötig sind, eine Autohupe oder ein Faxgerät zu erkennen. (26)

### **1.3 Zielstellung**

In meiner Arbeit stellte sich folglich das Problem, diese unterschiedlichen Einflüsse auf das Testergebnis soweit möglich auszuschalten bzw. diese Einflüsse in der Vorbereitung der Arbeit zu standardisieren. Weiterhin kam erschwerend hinzu, dass im Test zu einem erheblichen Teil der Proband Einfluss auf die Verwertbarkeit der Ergebnisse hatte, da er fortlaufend aufgefordert war, die eigene Hörleistung einzuschätzen und zu bewerten. Somit kombinieren sich objektivierbare mit subjektiven, beeinflussbare mit nicht beeinflussbaren Faktoren, um schließlich zu Ergebnissen zu kommen, die Aussagen über folgende Punkte zulassen sollen:

- Wie gut stimmt die persönliche Einschätzung der Probanden über ihre Hörleistung mit den objektiven Ergebnissen überein.
- Inwiefern ergeben sich Unterschiede zu der parallel durchgeführten



Testung an jungen normalhörenden Probanden.

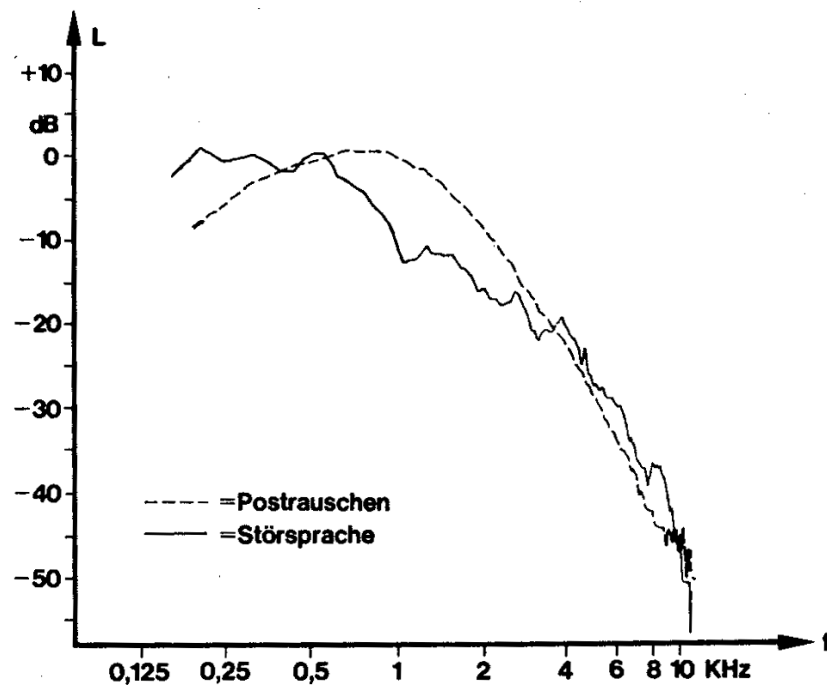
- Inwiefern lässt sich mit einer standardisierten Testanordnung die Vereinheitlichung der Hörgeräteanpassung und deren Qualitätssicherung verwirklichen.

## **2 Material und Methodik**

### **2.1 Testmaterial**

#### **2.1.1 Der HSM-Satztest**

Beim verwendeten Satztest handelt es sich um den HSM-Test, der eine Weiterentwicklung des Innsbrucker Satztests durch Hochmeier, Schulz und Moser darstellt. In einer Dissertationsarbeit konnte Schuh die Ausgewogenheit der Testgruppen in ihrem Aufbau und in ihrer Verständlichkeit feststellen. (29) Von einer Audio-CD wurde der HSM-Test auf den verwendeten PC aufgespielt. Über zwei getrennte Kanäle werden einerseits die Testsätze, andererseits ein sprachsimulierendes Rauschen dargeboten. Das Rauschen entspricht der Empfehlung G227 des Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique, kurz CCITT. (Abbildung 1) (33,4) Es wurde sowohl als Störgeräusch im Satztest verwendet, als auch zur Eichung der Testanlage. Die Eichung wurde vor jedem einzelnen Probanden durchgeführt, um die Gleichheit der Testbedingungen zu gewährleisten. Die Verwendung eines Störgeräusches ergibt sich aus der Anforderung nach natürlichen Rahmenbedingungen, so dass dem ständig präsenten Geräuschpegel im sozialen Umfeld Rechnung getragen wird. Zudem zeigen Hochtonschwerhörige erst unter diesen erschwerten Bedingungen das Ausmaß der Abnahme ihrer Diskriminationsfähigkeit, wodurch der Begriff „Cocktailparty-Effekt“ geprägt wurde. (24,39) Jedoch bringt die Verwendung eines Störsignals für die Sprachaudiometrie noch den Vorteil, nicht absolute Dezibelwerte als Ergebnis zu erhalten, sondern sich durch die Einführung des Signal-Rausch-Abstandes sehr variabel ohne „ceiling“ bzw. „floor“-Effekte auf höchst inhomogene Probanden einstellen zu können, d.h. die Probanden „stoßen“ nicht an 100% bzw. 0% an, was die Beurteilbarkeit der Ergebnisse stark einschränken würde. (16)



**Abbildung 1:** Frequenzspektren der Sprache nach Niemeyer und des sprachsimulierenden Rauschens (Postrauschen) nach CCITT. Abb. aus (33)

### 2.1.2 Systematik in der Darbietung der Sätze

Der HSM-Satztest besitzt 30 verschiedene Gruppen, wobei in jeder Gruppe 20 Sätze zusammengefasst sind. Die Sätze sind in regelhafter Weise von unterschiedlicher Länge:

Satz 01	und	11:	4 Wörter
Satz 02	und	12:	3 Wörter
Satz 03	und	13:	6 Wörter
Satz 04	und	14:	5 Wörter
Satz 05	und	15:	5 Wörter
Satz 06	und	16:	6 Wörter
Satz 07	und	17:	8 Wörter
Satz 08	und	18:	5 Wörter
Satz 09	und	19:	7 Wörter
Satz 10	und	20:	4 Wörter

Anhand dieses Musters ist es möglich, unterschiedliche Hörleistungen bei unterschiedlicher Satzlänge zu quantifizieren.

Um systematische Fehler auszuschließen, wandte ich bei der Darbietung der Sätze ein Schema an, worin festgelegt war, unter welchen Startbedingungen die Probanden getestet wurden. Folgende Variationen waren möglich:

- Jeder Proband hörte 8 verschiedene Satzgruppen. Der jeweils anschließende Proband hörte die 8 folgenden. Nach Satzgruppe 30 wurde wieder bei Gruppe 1 begonnen.
- Mit jedem Probanden wechselte der Lautsprecher (links/rechts), über welchen die ersten 4 Satzgruppen dargeboten wurde. Innerhalb jeder Testung eines Probanden wurde die Signalseite 4 Satzgruppen lang beibehalten, d.h. die Signalseite wechselte nach der ersten Hälfte des Versuchs.
- Im Gegensatz zur Sprache änderte sich nicht die Seite des Noisesignals, da das Rauschen stets aus beiden Lautsprechern dargeboten wurde. Es waren zwei Lautstärkeinstellungen für das Rauschen möglich. Angestrebt wurde eine Lautstärke an den Ohren des Probanden von 60 dB bzw. 80 dB. Nicht-kohärentes Rauschen, also phasenverschobenes Rauschen wie jenes in diesem Versuchsaufbau, verstärkt sich bei Überlagerung um 3 dB. Daher war es nötig, beide Quellen auf 57 dB bzw. 77 dB einzustellen, um zu den gewünschten Werten von 60 bzw. 80 dB zu gelangen. Nach jeder zweiten Satzgruppe wurde die Einstellung geändert. Nach jedem zweiten Probanden wurde die Anfangseinstellung geändert.
- Des Weiteren konnte für jede Satzgruppe gewählt werden, ob die Lautstärke der Sprache oberhalb oder unterhalb der 50%-Verständnisschwelle beginnen sollte. Diese ergab sich näherungsweise aus den Daten von 4 Probanden, welche vorab getestet wurden. Einer Verfälschung der Messergebnisse, wie sie sich durch die Wahl von zu hohen bzw. zu niedrigen Anfangswerte ergeben würde, wurde dadurch vorgebeugt, dass einerseits bei den 8 Satzgruppen jedes Probanden die

Einstellungen „oberhalb“ und „unterhalb 50%“ abgewechselt wurden, zum anderen für je 8 Probanden eine Anfangseinstellung beibehalten wurde.

Proband	Satzgruppe	Signalseite	Noise in dB	> 50%	< 50%
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
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
5	3	rechts	60		X
5	4	rechts	60	X	
...	...	...	...	...	etc.

**Tabelle 2:** Schema der Systematik in der Darbietung des HSM-Tests

## 2.2 Audiometeranlage

Personal Computer:	Maxdata 466 Mhz Celeron
Verstärker:	Harman/Kardon HK 610, 150 Watt
Eichgerät:	Brüel & Kjaer Head and Torso Simulator, Type 4128
Lautsprecher:	Manger Schallwandler, 2 Stück

In der Sprachaudiometrie stellen die Lautsprecher in bezug auf die Sprachwiedergabequalität das schwächste Glied in der Kette dar. Das Speichermedium Compactdisc ist qualitativ nicht zu verbessern, so dass über die Lautsprecher die größten Einbussen durch Frequenzverzerrungen zu verzeichnen sind. Hierbei ist die besondere impulsförmige Frequenzstruktur der Sprache störanfällig. Die Verwendung mangelhafter Lautsprecher kann somit Diskriminationsverluste vortäuschen. (27)

Bei den Lautsprechern handelt es sich um ein Modell, dessen Kalotte im Gegensatz zu herkömmlichen Audiometrielautsprechern eine extrem geringe Einschwingzeit von 0,015ms besitzt und somit unterhalb der Auflösefähigkeit des menschlichen Ohres (0,02ms) liegt. Dadurch sollen, laut Hersteller, die Eigengeräusche der Lautsprecher verschwinden, ihre Ortung im Raum erschwert werden und durch die besondere Frequenztreue ein sehr viel natürlicherer Klang entstehen, der reelle Gegebenheiten besser simulieren könne. (17) In der Würzburger Universitätsklinik wird dieses Modell bereits seit einigen Jahren eingesetzt, womit dem Ziel, die Testsituation soweit wie möglich der Alltagssituation anzupassen, Rechnung getragen wird. (24)

## 2.3 Software

Die Datenerfassung der Probanden erfolgte über das Programm Westra 32. Der eigentliche HSM-Test konnte mit Hilfe einer von Dipl. Ing. A. Möltner entwickelten Software über einen normalen Personal Computer (PC) abgespielt werden. Bei diesem Programm lassen sich die Parameter des

Hörtests über Monitorsteuerung festlegen, so z.B. die Lautstärke für Signal wie für Noise, die Signalseite, ebenso wie die einzelnen Satzgruppen. Jeder Satz wird über einen Mouseklick gestartet, das Rauschen wird automatisch eingespielt. Nach der Darbietung kann sofort in der Benutzeroberfläche die Antwort des Probanden gekennzeichnet werden, d.h. sowohl die eigene Einschätzung der persönlichen Hörleistung wie auch die tatsächlich richtig verstandenen Worte werden vom Programm erfasst. Die Ergebnisse können anschließend in einem Tabellenkalkulationsprogramm bearbeitet werden.

Ebenfalls automatisch reguliert das Programm die Lautstärke der Sprache. Während sich das Rauschen innerhalb einer Gruppe niemals in seiner Lautstärke verändert, so hängt die Signallautstärke eines Satzes ab von dem Selbsturteil des Probanden im vorhergehenden Satz. Den Probanden wurden 4 verschiedene Kategorien angeboten, zwischen denen sie sich entscheiden konnten, um ihre Einschätzung über ihre Verständnisleistung auszudrücken:

- |    |                   |      |      |   |        |
|----|-------------------|------|------|---|--------|
| 1. | Nichts verstanden | bzw. | 0%   | : | + 2 dB |
| 2. | Wenig verstanden  | bzw. | 33%  | : | + 1 dB |
| 3. | Viel verstanden   | bzw. | 66%  | : | - 1 dB |
| 4. | Alles verstanden  | bzw. | 100% | : | - 2 dB |

Das Programm veränderte die Signallautstärke um die aus der Liste ersichtbaren Werte, d.h. dass die Antwort „Nichts verstanden“ den folgenden Satz 2 dB lauter werden lässt, hingegen die Antwort „Alles verstanden“ den anschließenden Satz um 2 dB leiser macht. Die Startbedingungen, unter welchen die Testung der einzelnen Gruppen gestartet wurde, entsprachen dem Schema, welches bereits unter 2.1.2 erläutert wurde.

Durch das bewusste Nichtvorhandensein einer mittleren Antwortrubrik ändert sich die Signallautstärke mit jedem Satz. Auf diese Art und Weise werden sich die Antworten, so die Annahme, um einen bestimmten Wert einpendeln, welcher dem Wert entsprechen soll, bei dem der Proband 50% der Sprache verstanden hat. (14, 16, 40)

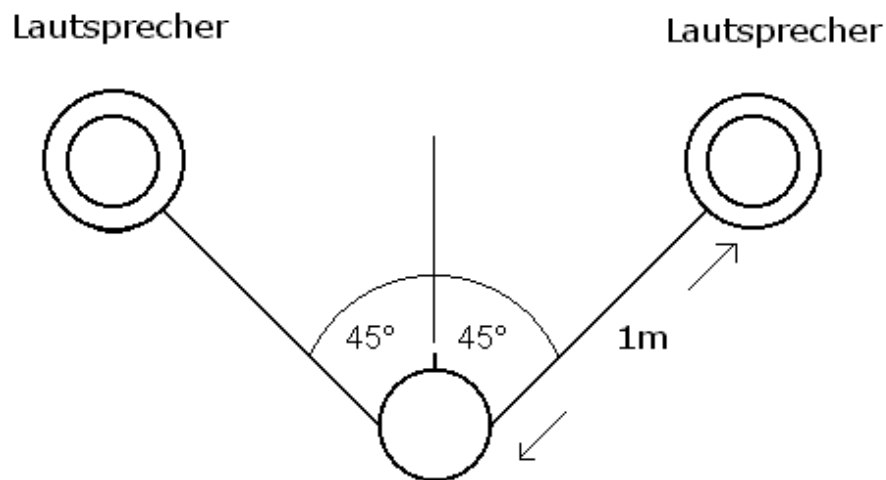
## 2.4 Probanden

Der Satzverständnistest wurde mit 25 Probanden durchgeführt, deren Daten komplett ausgewertet und in die Ergebnisse mit aufgenommen wurden. Die Probanden waren alle im Alter zwischen 55 und 65 Jahren, davon 12 weibliche und 13 männliche. Alle gaben an, unter keiner bekannten Hörminderung zu leiden und fühlten sich zur Zeit des Versuchs gesund, soweit dies ihr Hörvermögen und ihre Konzentrationsfähigkeit betraf.

## 2.5 Messraum und Aufbau

Den Probanden wurden die Sätze des HSM-Tests in einem schallarmen Raum (Camera Silens) dargeboten, wobei die Lautsprecher jeweils im 45°-Winkel zur Blickachse des Probanden aufgestellt wurden. Da die Sprache aus nur jeweils einem Lautsprecher zu hören war, bedeutet dies, dass je nach Seite das Sprachsignal zwar größtenteils nur ein Ohr erreicht, jedoch das andere durch die größere Entfernung von der Sprachquelle in abgeschwächter Form ebenfalls am Hörvorgang beteiligt war. Eine einseitige Vertäubung erschien als nicht sinnvoll, da die Prüfsituation möglichst der Realität entsprechen sollte. Eine isolierte Sprachquelle wurde nicht in Betracht gezogen, da eine räumliche Trennung von Signal und Störsignal die Satzverständlichkeit erhöhen würde. (24) Der Abstand vom jeweiligen Lautsprecher zum linken bzw. rechten Ohr der Probanden betrug 100 cm. Durch die Verwendung eines höhenverstellbaren Hockers konnten die Ohren der Probanden auf die Höhe der Lautsprecher eingestellt werden. Zur Verdeutlichung des Versuchsaufbaus betrachten Sie bitte die Abbildung 2.





**Abbildung 2:** Die Lautsprecher stehen im 45°-Winkel zur Blickachse des Probanden, der Abstand Ohr-Lautsprecher beträgt jeweils 100cm.

Die Dauer des Tests betrug durchschnittlich ca. 45 Minuten. Bei der Hälfte des Tests wurde dem Probanden eine kurze Erholungspause angeboten, die jedoch in der Regel mit der Begründung ausgeschlagen wurde, keine Pause zu benötigen.

## 2.6 Durchführung

Dem Probanden wurde der Versuchsablauf erklärt und im Anschluss die Möglichkeit gegeben, eventuelle Fragen zu stellen. Die Versuchsperson erhielt einen DinA4-Vordruck, auf dem gut lesbar die vier verschiedenen Antwortkategorien zu ersehen waren. Neben der Einteilung in „nichts, wenig, viel, alles verstanden“ konnte der Proband auch die Einteilungen „0% - 33% - 66% - 100%“ bzw. „0 -  $\frac{1}{3}$  -  $\frac{2}{3}$  - 1“ verwenden. Anschließend wurden einige Testsätze dargeboten, damit der Proband sich auf die veränderte Akustik des Raumes sowie auf die Testbedingungen einstellen konnte. Die Darbietung der Sätze erfolgte nach dem Schema in Tabelle 1.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Signal/Rausch-Abstand bei 50%-Satzverständnisschwelle

##### 3.1.1 Werte

Jedem der 25 Probanden wurden 8 Satzgruppen mit jeweils 20 Sätzen dargeboten. Daraus errechnen sich insgesamt 4000 Datensätze, in denen sämtliche Testwerte vereinigt sind.

Aus der Berechnung der Korrelationskoeffizienten für den Signal-Rausch-Abstand mit gezählten Prozent als abhängige Variable konnte für jede Testperson der entsprechende S/N-Wert bei tatsächlichen 50% Satzverständnis ermittelt werden.

Im Weiteren wird für das 50%ige Satzverständnis häufig die Abkürzung „SRT“ (Speech Reception Threshold) verwendet.

In Tabelle 3 sind die Werte zu ersehen. Unter Voraussetzung einer linearen Relation kam folgende Formel mit K als Konstante und s als Koeffizient für S/N zur Anwendung:

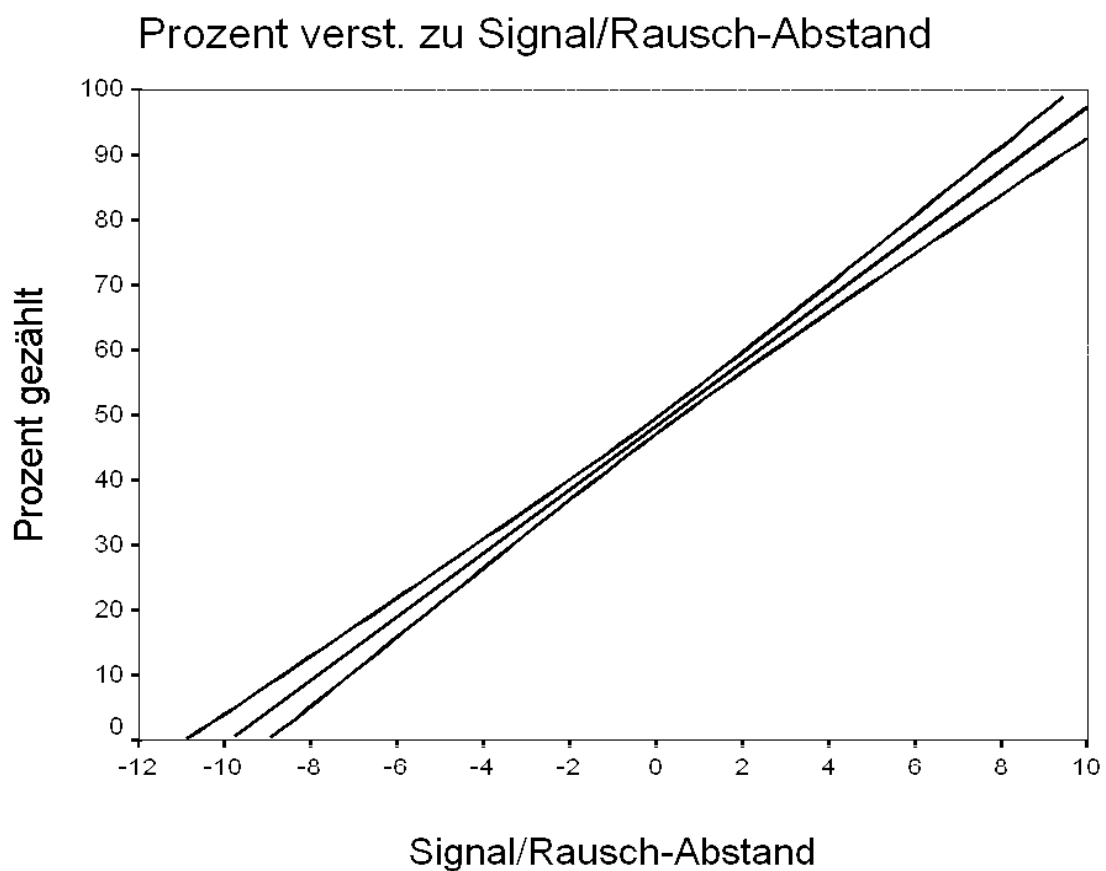
$$\begin{aligned} 50 [\%] &= s * x + K; \\ x &= (50 - K) / s. \end{aligned}$$

Unter Einbeziehung aller 25 Probanden ergab sich ein Mittelwert für den S/N-Abstand bei der 50% Satzverständnisschwelle von 0,3 dB, d.h. um 50 % Satzverständnis zu erlangen benötigten die Probanden durchschnittlich eine Signallautstärke, die 0,3 dB über der Noiselautstärke lag.

Pro-band	Koeffizienten		S/N (dB)	Pro-band	Koeffizienten		S/N (dB)
<b>1</b>	K	39,39		<b>13</b>	K	69,49	
	s	8,24	<b>1,3</b>		s	7,14	<b>-2,7</b>
<b>2</b>	K	47,04		<b>14</b>	K	42,66	
	s	8,27	<b>0,4</b>		s	6,85	<b>1,1</b>
<b>3</b>	K	62,70		<b>15</b>	K	47,78	
	s	10,29	<b>-1,2</b>		s	8,92	<b>0,2</b>
<b>4</b>	K	58,68		<b>16</b>	K	11,46	
	s	8,27	<b>-1,0</b>		s	7,78	<b>5,0</b>
<b>5</b>	K	66,29		<b>17</b>	K	47,52	
	s	9,94	<b>-1,6</b>		s	7,53	<b>0,3</b>
<b>6</b>	K	59,04		<b>18</b>	K	75,06	
	s	7,20	<b>-1,3</b>		s	10,42	<b>-2,4</b>
<b>7</b>	K	48,65		<b>19</b>	K	61,13	
	s	8,23	<b>0,2</b>		s	11,53	<b>-1,0</b>
<b>8</b>	K	47,08		<b>20</b>	K	39,46	
	s	7,70	<b>0,4</b>		s	7,09	<b>1,5</b>
<b>9</b>	K	66,23		<b>21</b>	K	35,99	
	s	7,16	<b>-2,3</b>		s	4,24	<b>3,3</b>
<b>10</b>	K	41,45		<b>22</b>	K	32,64	
	s	6,09	<b>1,4</b>		s	6,46	<b>2,7</b>
<b>11</b>	K	30,96		<b>23</b>	K	50,45	
	s	5,75	<b>3,3</b>		s	6,64	<b>-0,1</b>
<b>12</b>	K	50,03		<b>24</b>	K	39,34	
	s	4,51	<b>0,0</b>		s	8,36	<b>1,3</b>
				<b>25</b>		57,14	
						8,41	<b>-0,8</b>

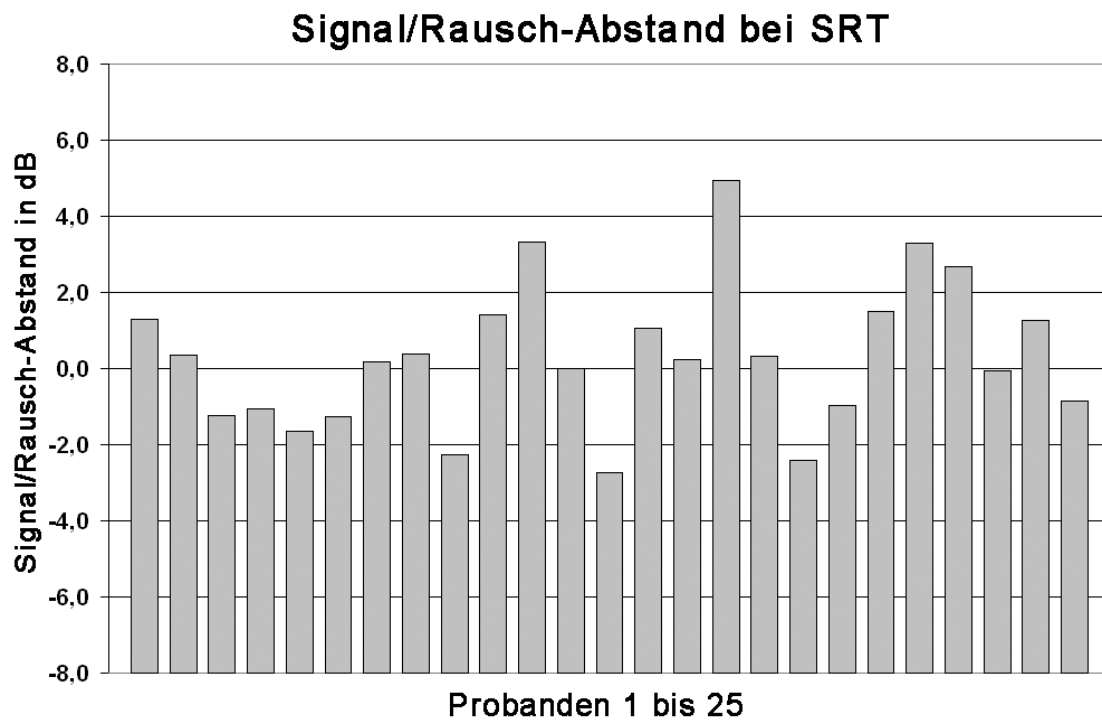
**Tabelle 3:** S/N-Abstand bei 50% Satzverständnis, Koeffizienten (Konstante K, S/N-Koeffizient s)

Der lineare Zusammenhang zwischen dem ausgezählten Satzverständnis in Prozent und dem Signal/Rausch-Abstand ist in Abbildung 3 zu erkennen. Ebenfalls eingezeichnet ist das 95%ige Konfidenzintervall. Es ergibt sich eine Korrelation mit einem  $r^2$ -Wert von 0,10. (22)



**Abbildung 3:** Linearer Zusammenhang zwischen S/N und Satzverständnis mit 95%-Konfidenzintervall

Weiterhin ist der S-N-Abstand in Abbildung 4 für jeden Probanden einzeln dargestellt. Die Spannweite erstreckt sich von dem Minimum  $-2,7$  dB bis zum Maximalwert  $+5,0$  dB.



**Abbildung 4:** S/N bei 50% Satzverständnis.

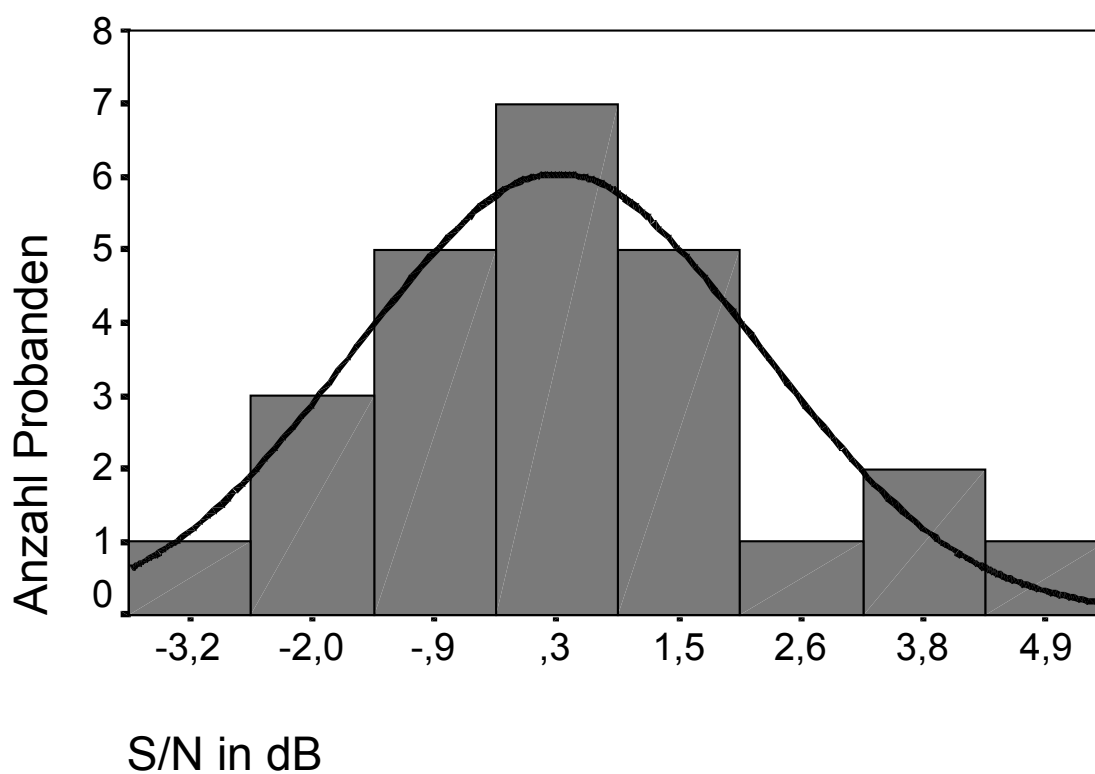
### 3.1.2 Test auf Normalverteilung

Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest wurde durchgeführt, um zu ermitteln, ob die S/N-Werte bei 50% Satzverständnis normalverteilt sind.

<b>Anzahl Probanden N</b>	25	
<b>Parameter der Normalverteilung</b>	Mittelwert S/N (dB)	0,31
	Standardabweichung	1,9064
<b>Extremste Differenzen</b>	Absolut	0,126
	Positiv	0,126
	Negativ	-0,062
<b>Kolmogorov-Smirnov-Zahl</b>	0,630	
<b>Asymptotische Signifikanz (2-seitig)</b>	<b>0,823</b>	

**Tabelle 4:** Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest für S/N bei SRT

Die zweiseitige asymptotische Signifikanz ließ sich ermitteln mit 0,823 und liegt somit über dem geforderten Wert von 0,025 Irrtumswahrscheinlichkeit, um die Bedingungen für eine Normalverteilung zu erfüllen. In Abbildung 5 finden Sie dazu eine graphische Darstellung.

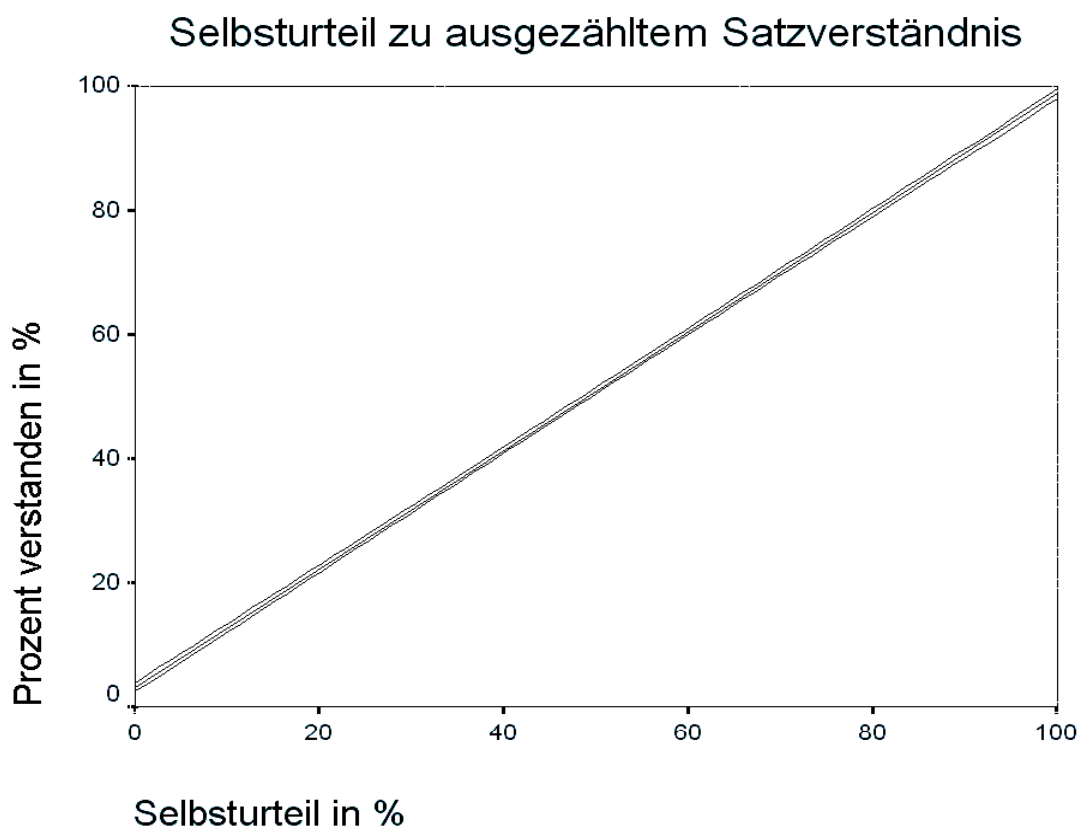


**Abbildung 5:** Normalverteilung von S/N bei SRT

## 3.2 Selbsteinschätzung im Vergleich zur ausgezählten Hörleistung

### 3.2.1 Werte

Die Regressionsanalyse wurde angewandt auf die Beziehung zwischen dem subjektiven Urteil der Probanden über ihre eigene Verständnisleistung und den durch Auszählen ermittelten Daten. Es ergab sich eine sehr gute Korrelation mit einem  $r^2$  von 0,85. Die 95%-Konfidenzintervalle decken sich nahezu mit der Ausgleichsgeraden und sind in der Abbildung optisch kaum zu trennen. (Abbildung 6)



**Abbildung 6:** Linearer Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung und Satzverständnis mit 95%- Konfidenzintervall

Über die Korrelationskoeffizienten analog zu 3.1 konnte auch für die prozentuale Selbsteinschätzung der entsprechende Wert für die 50%-

Verständnisschwelle (kurz: Est50) ermittelt werden. Die Werte entsprechen für jeden Probanden der Prozentzahl, die seiner subjektiven Einschätzung bei der Satzverständnisschwelle entspricht, d.h. ein Mittelwert von 48,9% bedeutet, dass die Probanden im Durchschnitt ihr Sprachverständnis auf 48,9% schätzten, wenn sie tatsächlich 50% Satzverständnis (SRT) aufwiesen. Die Standardabweichung beträgt 3,7%. Sehen sie dazu Tabelle 5.

<b>Proband</b>	<b>Est50 in %</b>		<b>Proband</b>	<b>Est50 in %</b>
1	48,4		14	52,2
2	49,4		15	44,4
3	49,8		16	50,3
4	46,9		17	55,1
5	49,0		18	50,6
6	50,4		19	47,7
7	41,2		20	48,3
8	50,5		21	51,5
9	40,9		22	48,6
10	58,2		23	50,6
11	51,3		24	46,6
12	46,4		25	47,1
13	46,6			
<b>Minimum</b>	<b>41,2</b>		<b>Mittelwert</b>	<b>48,9</b>
<b>Maximum</b>	<b>58,2</b>		<b>Standardabw.</b>	<b>3,7</b>

**Tabelle 5:** Die Selbsteinschätzung bei 50% Satzverständnis in Prozent (Est50)



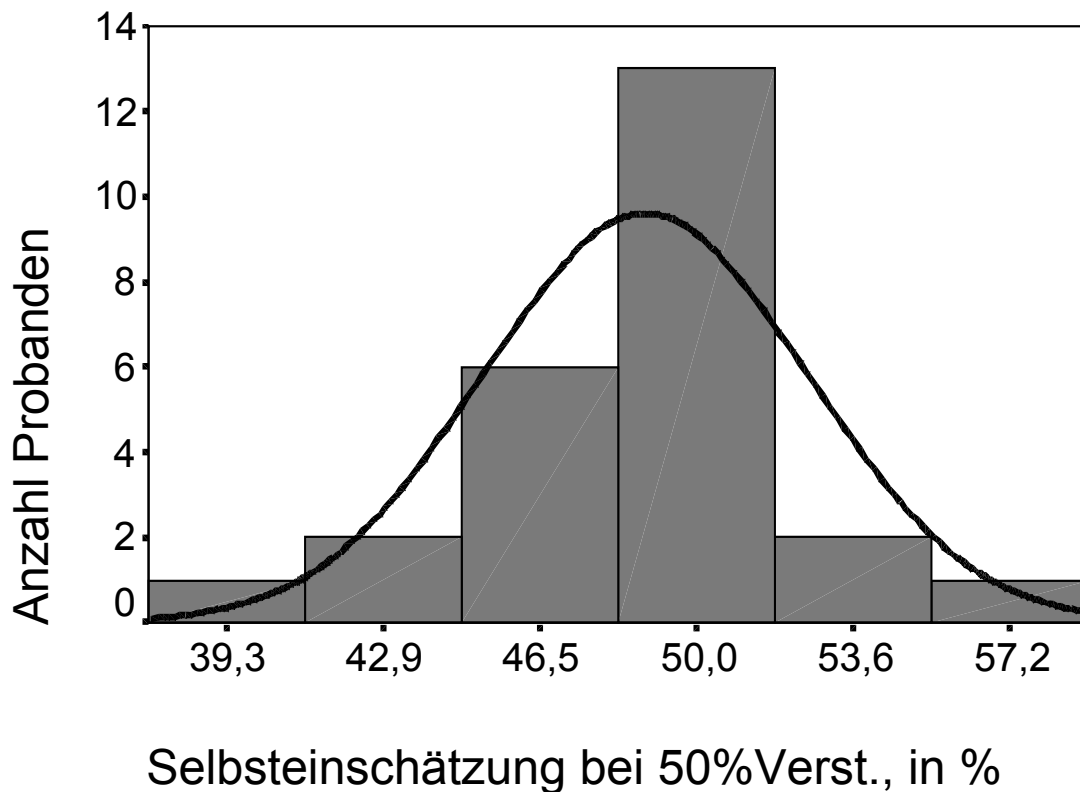
### 3.2.2 Test auf Normalverteilung

Weiterhin wurde überprüft, ob die ermittelten Werte der Selbsteinschätzung normalverteilt sind. (Tabelle 6)

<b>Anzahl Probanden N</b>	25	
<b>Parameter der Normalverteilung</b>	Mittelwert Est50 (%)	48,9
	Standardabweichung	3,7
<b>Extremste Differenzen</b>	Absolut	0,1
	Positiv	0,1
	Negativ	-0,1
<b>Kolmogorov-Smirnov-Zahl</b>	0,6	
<b>Asymptotische Signifikanz (2-seitig)</b>	<b>0,8</b>	

**Tabelle 6:** Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest bezüglich der Selbsteinschätzung bei SRT

Auch hier zeigt sich die Normalverteilung der Werte. Die zweiseitige asymptotische Signifikanz liegt weit über dem Grenzwert von 0,025. Die graphische Darstellung ist in Abbildung 7 zu sehen.



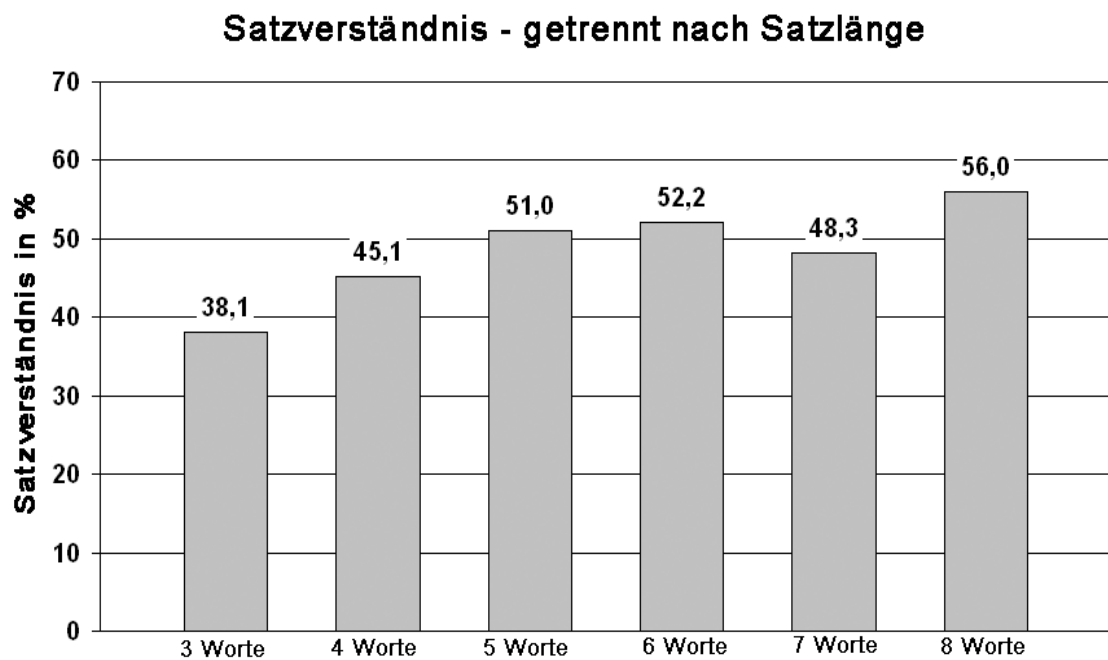
**Abbildung 7:** Normalverteilung der Selbsteinschätzung bei SRT

### 3.3 Signal/Rausch-Abstand und Satzverständnis bei unterschiedlicher Satzlänge

Zur Feststellung von Unterschieden im Satzverständnis in bezug auf die Satzlänge der dargebotenen Testsätze wurden weitere Berechnungen angestellt, deren Ergebnisse in Abbildung 8 sowie Tabelle 7 zu sehen sind. Es zeigt sich ein Unterschied im Verständnis der kurzen Sätze verglichen mit dem der mittleren und langen Sätze, welche wiederum untereinander annähernd gleiche Werte aufweisen. Kurze 3-Wort-Sätze mit 38,1 %, aber auch 4-Wort-Sätze mit 45,1 % wurden deutlich schlechter verstanden als 5- bis 8-Wort-Sätze.

Wortanzahl	Satzverständnis in %	S/N
3	38,1	-0,4
4	45,1	-0,1
5	51,0	0,2
6	52,2	0,3
7	48,3	0,2
8	56,0	0,4

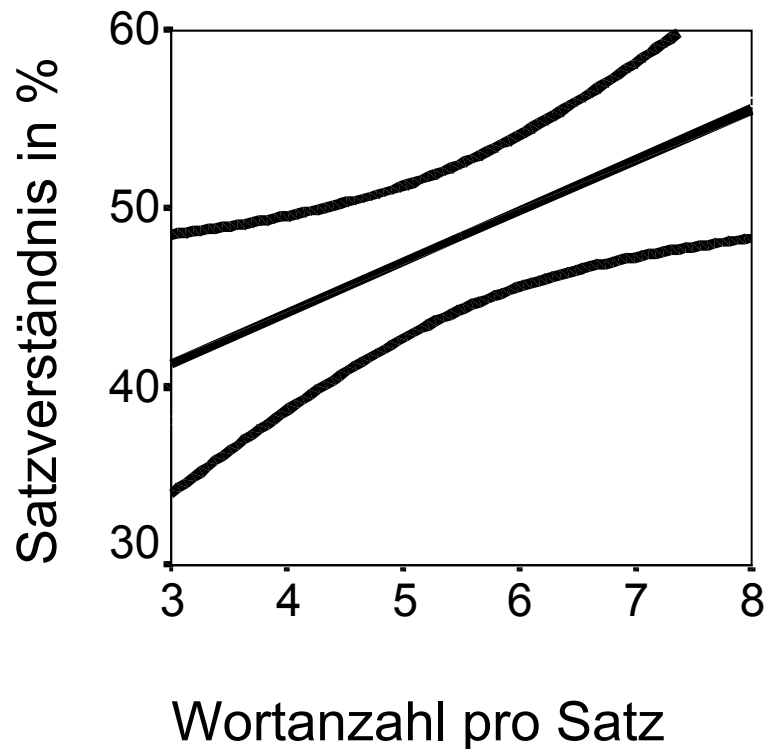
**Tabelle 7:** Satzverständnis nach Wortanzahl pro Satz



**Abbildung 8:** Satzverständnis in bezug auf Satzlänge

Bei der Überprüfung des Zusammenhangs von Satzverständnis in bezug auf

die Länge des Satzes durch Regressionsrechnung ergab sich eine gute lineare Korrelation von  $r^2=0,73$ , wie zu ersehen ist aus Abbildung 9.



**Abbildung 9:** Linearität zwischen Satzlänge und Satzverständnis mit 95% Konfidenzintervall

### 3.4 Signal-Rausch-Abstand bei 60 dB und 80 dB Noise

Vergleicht man die Signal-Rauschabstände bei 50% Satzverständnis in bezug auf die unterschiedlichen Einstellungen des Störrauschens, so zeigt sich eine bessere Verständlichkeit bei einer Lautstärke des Rauschens von 80 dB, was sich durch einen niedrigeren S/N-Abstand von  $-0,9$  dB gegenüber  $+1,5$  dB bei 60 dB Störuschen ausdrückt. Die Werte wurden wiederum durch eine Regressionsanalyse ermittelt.

Rauschpegel	S/N bei SRT
60 dB	1,5 dB
80 dB	-0,9 dB

**Tabelle 8:** S/N bei SRT bei unterschiedlicher Lautstärke des Störrauschens

### 3.5 Signal-Rausch-Abstand im Seitenvergleich

Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede in den Signal/Rausch-Abständen beider Seiten. Dies kann als Bestätigung dafür aufgefasst werden, dass bei den beteiligten Probanden zumindest keine einseitigen Hörschäden wie z. B. eine Trommelfellperforation vorausging. Die durchschnittlichen Werte betrugen für die rechte Seite 0,0 dB für die linke – 0,2 dB. Die Werte wurden errechnet aus der Gesamtanzahl der S/N-Werte einer Seite geteilt durch die Anzahl der Probanden.

Signalseite	S/N bei SRT
rechts	+ 0,0 dB
links	- 0,2 dB

**Tabelle 9:** S/N bei SRT bei unterschiedl. Signalseite

### 3.6 Vergleiche mit dem jungen Probandenkollektiv

Die hier verwendeten Vergleichswerte sind die Ergebnisse meiner Kollegin J. Wegener. Die Daten weisen ebenso eine Normalverteilung auf. Ich verweise an

dieser Stelle auf die in Vorbereitung befindliche Dissertation. (38)

### **3.6.1 Vergleich der Signal-Rausch-Abstände bei SRT**

Um die Daten des jungen Kollektivs mit denen des alten Kollektivs zu vergleichen, bietet sich zunächst der Levene-Test auf Varianzgleichheit (Tabelle 10) sowie der T-Test für die Mittelwertgleichheit (Tabelle 11) an zur Überprüfung der Signal-Rausch-Abstände bei der Satzverständnisschwelle an. Die Varianzen ergeben sich als gleich mit einem Wert F von 5,258 und einer Signifikanz von 0,026.

In Tabelle 12 ist übersichtsweise die Gruppenstatistik beider Kollektive im Vergleich zusammengestellt. Es zeigt sich, dass das junge Kollektiv durchschnittlich mit  $-4,7$  dB bereits bei unter-schweligen Werten 50% Satzverständnis aufwies, wohingegen die älteren Probanden für ein ebenso gutes Satzverständnis leicht überschwellige Werte benötigten. In Abbildung 10 sehen Sie eine Übersicht über die gemessenen Satzverständnisschwellen beider Altersgruppen.

<b>S/N bei SRT</b>	<b>F</b>	<b>Signifikanz</b>
Varianzen sind gleich	5,7	<b>0,02</b>
Varianzen sind nicht gleich	-	-

**Tabelle 10:** Levene-Test der Varianzgleichheit für S/N

<b>T</b>	<b>df</b>	<b>Signi- fikanz</b>	<b>Mittlere Differenz</b>	<b>Standard- fehler der Differenz</b>	<b>95%- Konfidenzint. der Differenz</b>	
					Untere	Obere
<b>-11,3</b>	47,0	<b>0</b>	-4,98	0,44	-5,9	-4,1
<b>-11,4</b>	37,2	<b>0</b>	-4,98	0,44	-5,9	-4,1

**Tabelle 11:** T-Test für die Mittelwertgleichheit von S/N

<b>Altersgruppe</b>	<b>N</b>	<b>Mittelwert S/N (dB)</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>Standardfehler des Mittelwertes</b>
<b>25 a</b>	25	<b>-4,7</b>	1,1	0,2
<b>60 a</b>	25	<b>0,3</b>	1,9	0,4

**Tabelle 12:** Gruppenstatistiken, Signal-Rausch-Abstand

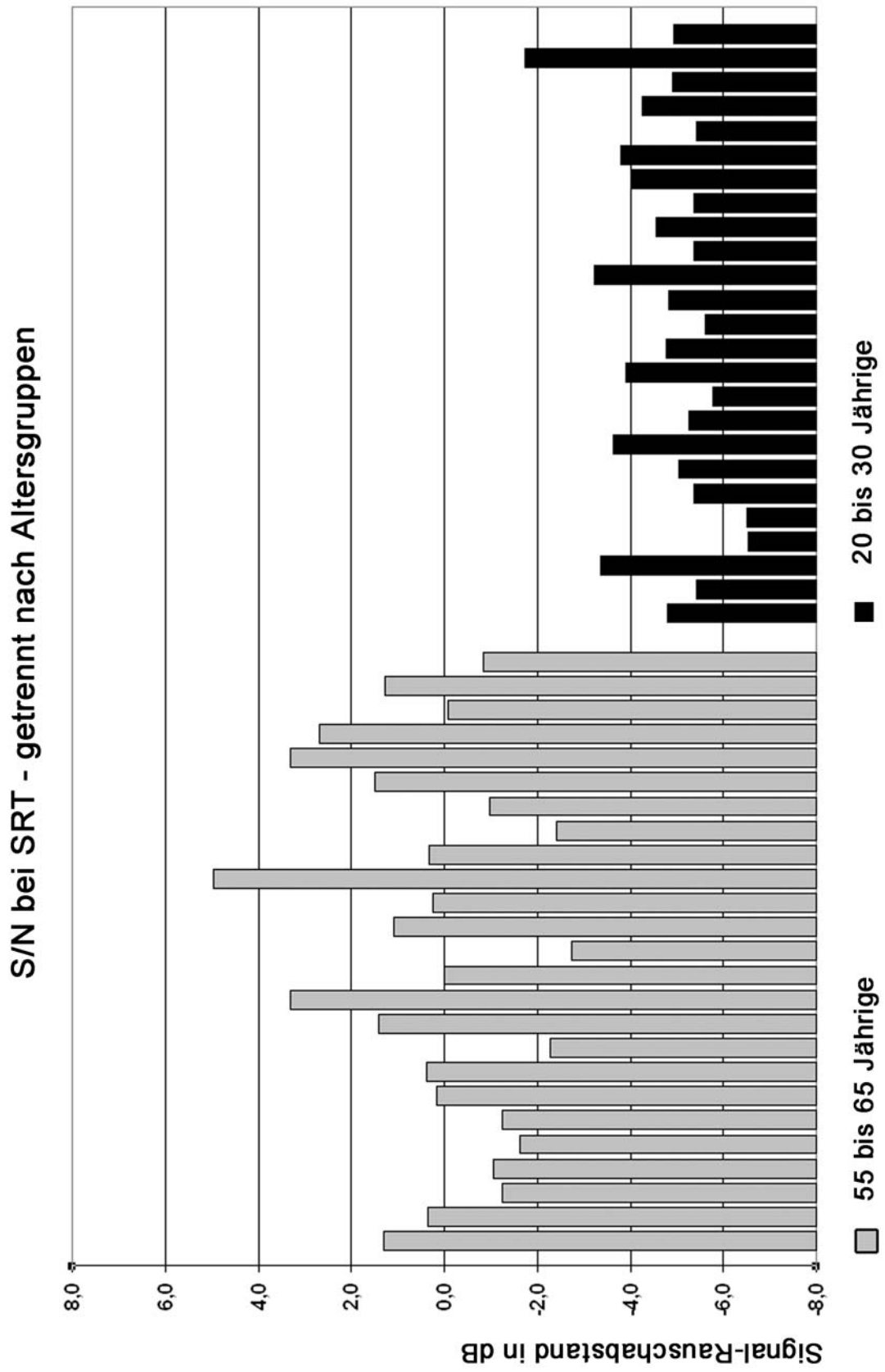


Abbildung 10: S/N bei SRT beider Altersgruppen



### 3.6.2 Vergleich der Selbsteinschätzung bei SRT

Für die Selbsteinschätzung bei 50%igem Satzverständnis wurde die gleichen statistischen Verfahren angewandt wie für den Signal-Rausch-Abstand. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13, 14 und 15 sowie in Abbildung 11 aufgeführt. Wieder ergeben sich gleiche Varianzen.

<b>Selbsteinschätzung bei SRT</b>	<b>F</b>	<b>Signifikanz</b>
Varianzen sind gleich	1,526	<b>0,223</b>
Varianzen sind nicht gleich	-	-

**Tabelle 13:** Levene-Test der Varianzgleichheit für die Selbsteinschätzung bei SRT

<b>T</b>	<b>df</b>	<b>Signifikanz</b>	<b>Mittlere Differenz</b>	<b>Standardfehler der Differenz</b>	<b>95%- Konfidenzint. der Differenz</b>	
					Untere	Obere
<b>-0,7</b>	47,0	<b>0,48</b>	-0,84	1,17	-3,20	1,52
<b>-0,7</b>	44,8	<b>0,48</b>	-0,84	1,18	-3,21	1,53

**Tabelle 14:** Test bei unabhängigen Stichproben für die Mittelwertgleichheit für Est50

<b>Altersgruppe</b>	<b>N</b>	<b>Est50 (%)</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Standardfehler des Mittelwertes</b>
<b>25 a</b>	24	<b>48,0</b>	4,5	0,9
<b>60 a</b>	25	<b>48,9</b>	3,7	0,7

**Tabelle 15:** Gruppenstatistiken für Est50

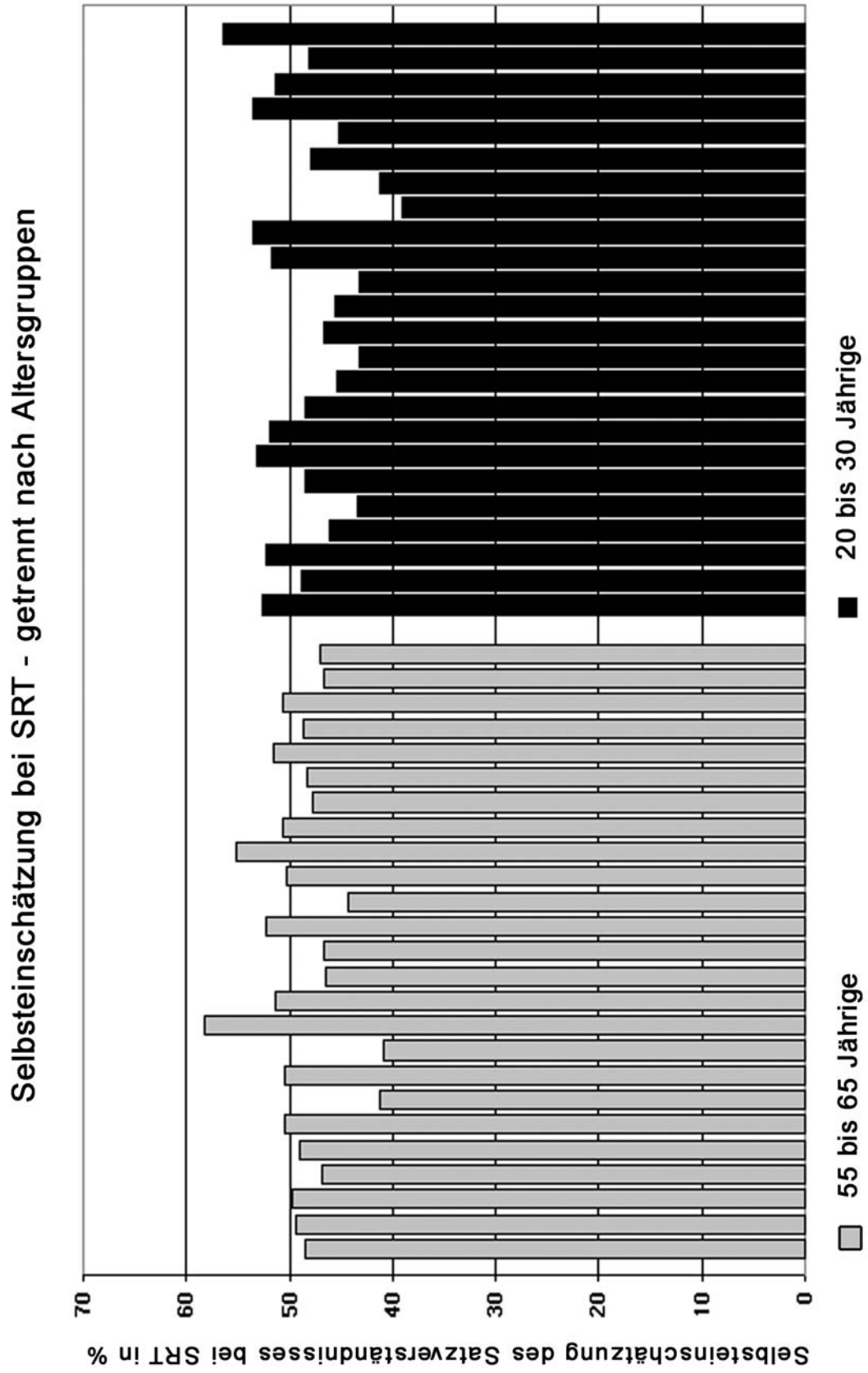


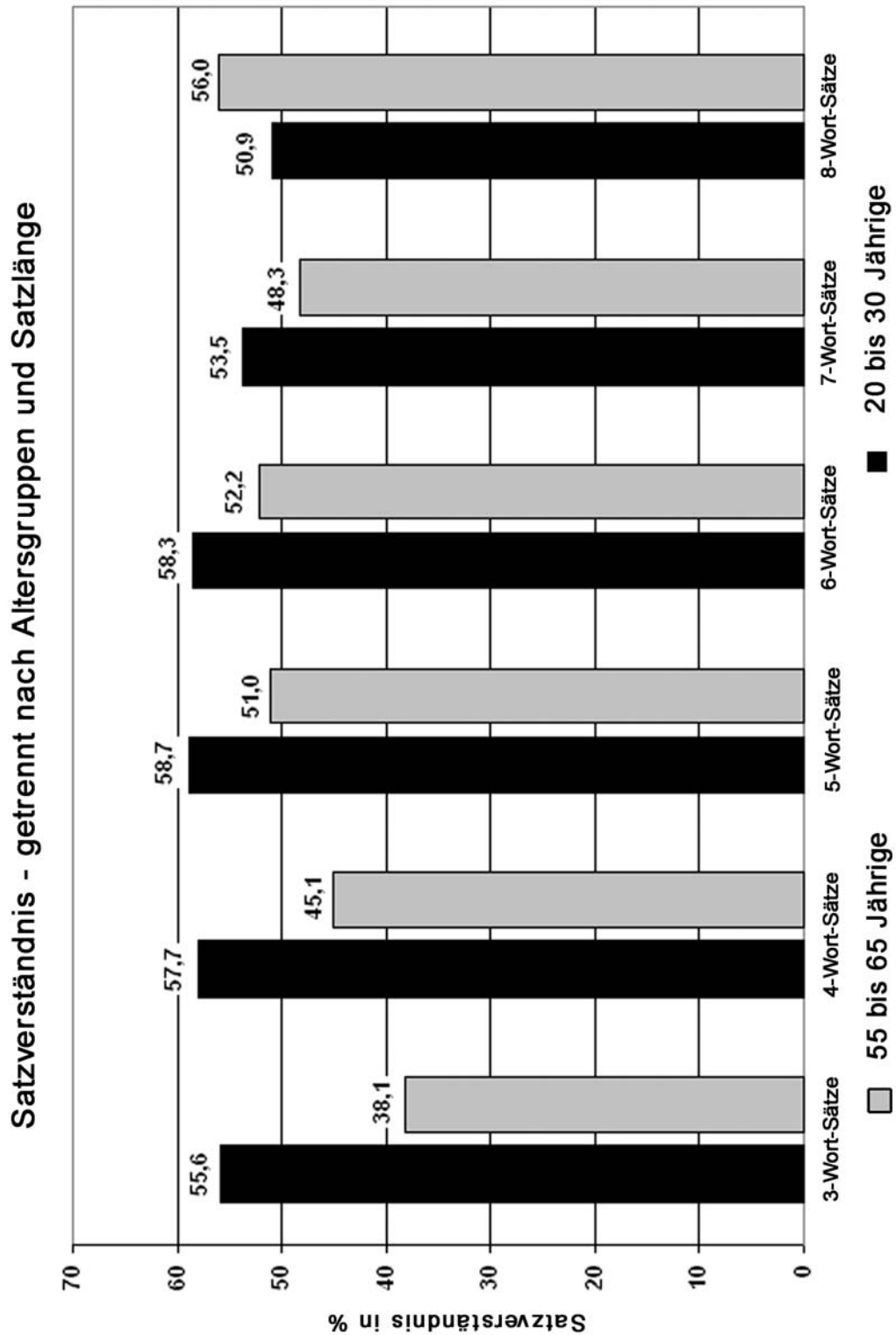
Abbildung 11: Selbsteinschätzung der beiden Altersgruppen bei SRT

### 3.6.3 Vergleich des Satzverständnisses bei unterschiedlicher Satzlänge

In Tabelle 16 sind die Ergebnisse bezüglich des prozentualen Satzverständnisses der jeweiligen Satzlängen beider Altersgruppen enthalten. Es ergeben sich Unterschiede insbesondere im Verständnis von kurzen Sätzen. Während die jungen Probanden bei den Sätzen mit 3 Worten pro Satz ein Verständnis von 54,7% aufwiesen, lagen die älteren Probanden hier bei lediglich 38,1%. In Abbildung 12 wurde dieser Zusammenhang dargestellt.

Wortanzahl pro Satz	Satzverständnis in %	
	25 a	60 a
3	55,6	38,1
4	57,7	45,1
5	58,7	51,0
6	58,3	52,2
7	53,5	48,3
8	51,0	56,0

**Tabelle 16:** Prozentuales Satzverständnis beider Altersgruppen in Bezug auf Satzlänge



**Abbildung 12:** Prozentuales Satzverständnis beider Altersgruppen in Bezug auf Satzlänge

## 4 Diskussion

### 4.1 Die Rolle der Selbsteinschätzung für den verwendeten Sprachverständnistest

Die bisher mit dem HSM-Test durchgeführten Verständlichkeitsprüfungen waren in erster Linie darauf ausgerichtet, die Diskriminationsfähigkeit von Hörgeräteträgern adäquat messen zu können. Es existiert eine definierte Vorgehensweise, um Hörgeräte anzupassen und den Erfolg zu kontrollieren. (11) An letzter Stelle steht hierbei die subjektive Beurteilung des Versorgungserfolgs durch den Hörgeräteträger, so dass alle vorhergehenden objektiven Testmethoden durch die Unzufriedenheit des Schwerhörigen zwar nicht überflüssig, aber doch in ihrer Relevanz stark eingeschränkt werden können. Anzustreben wäre insofern, objektive Testmethodiken bereits mit subjektivem Erleben der Probanden zu koppeln. Die bisherigen Arbeiten hatten zu diesem Zweck jedoch kein geeignetes Mittel verfügbar, zielten sie doch nicht darauf ab, das subjektive Empfinden des Probanden miteinzubeziehen, sondern mussten sich auf die gemessenen Daten beschränken. Da die bisher benutzten Tests eine sehr schlechte Korrelation zwischen den gemessenen Ergebnissen und der Zufriedenheit der Hörgeräteträger aufweisen, muss ein Weg gefunden werden, diese emotionale Komponente mitzuerfassen. (11) Dies scheint möglich mit der hier verwendeten Anordnung, da die Selbsteinschätzung der Testpersonen einen elementaren Anteil an den Ergebnissen nimmt.

Zunächst zeigt sich in den Werten eine sehr gute Korrelation zwischen der Selbsteinschätzung und dem tatsächlich Gehörten. Durchschnittlich waren die Probanden der Meinung, 48,9% verstanden zu haben, wenn ihnen die Auswertung 50% Satzverständnis quittierte. Die Standardabweichung betrug 3,2%. Die Werte können nach Durchführung des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests als normalverteilt betrachtet werden.

Bestätigt wird die gute Korrelation durch die Arbeit von Wegener. Auch in jener Arbeit erwies sich das verwendete Verfahren als geeignet, um das Sprachverständnis zu quantifizieren. Durchschnittlich vermuteten sich die

jungen Probanden bei 48,0%, als sie bei der Verständnisschwelle lagen. Die Standardabweichung war etwas größer mit 4,5%, was für inhomogenere Probandenantworten spricht als es in der vorliegenden Arbeit der Fall ist.

Die Ergebnisse für die Selbsteinschätzung müssen als erstaunlich gut bewertet werden, wenn bedacht wird, wie leicht Fehleinschätzungen unter den erschwerten Bedingungen sind. Indem nur vier symmetrisch gewertete Kategorien verwendet wurden und somit die Probanden stets in der Schwebe zwischen Verstehen und Nicht-Verstehen gehalten wurden, pendelte sich der S/N-Abstand bei ungefähr 50% Satzverständnis ein. Folglich waren jedoch auch sehr häufig Unsicherheiten mit teilweise spekulativen Antworten zu beobachten. Genau hierin liegt die Problematik eines Sprachtests: jeder Proband besitzt einen unterschiedlichen Sprachvorrat, aus dem er schöpft, um auch unter erschwerten Bedingungen den Sinn erfassen zu können. (7) Um nachvollziehen zu können, wie die teils richtigen, teils falschen spekulativen Antworten erklärbar sind, ist es angebracht, sich den prinzipiellen Verarbeitungsmechanismen des verwendeten Reizes, nämlich Sprache, zuzuwenden.

## **4.2 Gehirnphysiologische Verarbeitungsprinzipien von Sprache**

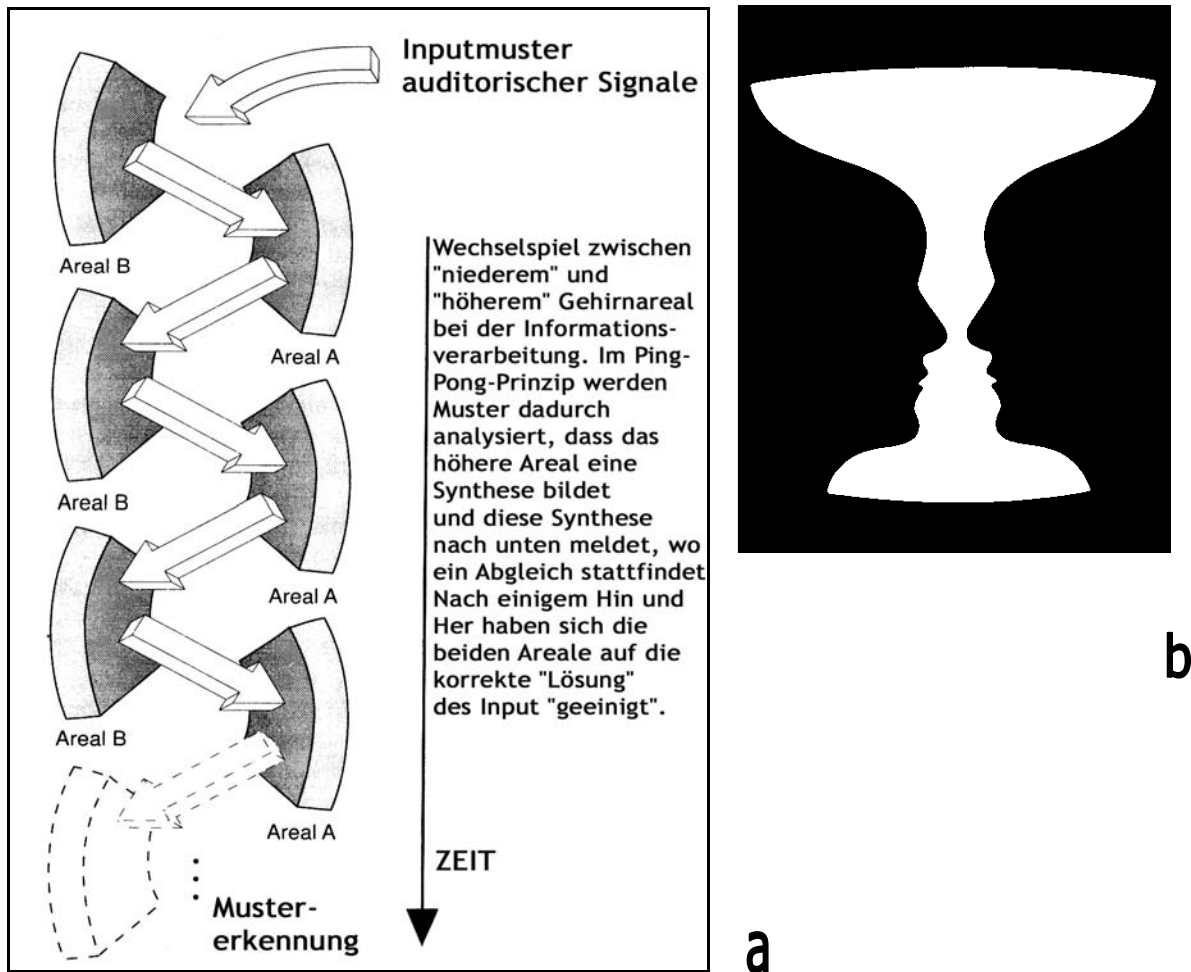
Durch Frequenzanalysen konnte Sprache in seinen einzelnen Segmenten untersucht werden. (13, 40) Im Gegensatz zu nicht-sprachlichen Lauten, deren Auflösungsvermögen bei 5 Segmenten pro Sekunde bereits an die Grenzen stößt und nur noch als ein Summen wahrgenommen wird, vermag das menschliche Gehör bis zu 30 Sprachsegmente pro Sekunde aufzulösen. Dieser Unterschied muss durch eine für Sprache enorm effiziente spezifische Verarbeitungsweise bedingt sein. (28, 42)

Da das Verständnis von menschlicher Sprache etwas besonderes und ebenfalls besonders kompliziertes ist, ergeben sich für die Audiometrie von vorneherein Probleme, die in der reinen Schwellenaudiometrie nicht relevant sind.

Bereits die Frage, was man misst, ist nicht einfach. Es genügt nicht die Einteilung zwischen „gehört“ und „nicht gehört“, da ein Satz auch sinngemäß verstanden werden kann, wenn Worte daraus fehlen, bzw. wird der Satz nicht verstanden, obwohl nur ein einzelnes, aber sinntragendes Wort nicht erfasst wurde. (14) Dasselbe gilt sogar für jedes einzelne Wort: Das korrekte Wiederholen eines Wortes bedeutet keineswegs, dass alle einzelnen Laute des Wortes auch korrekt erfasst wurden. (8) Die Fähigkeit, inkomplette Sätze zu einem sinnvollen Ganzen zusammenzufügen, ergibt sich aus der Verarbeitung des Kontextes. Hierbei besteht immer verschiedene Deutungsmöglichkeiten und damit die Gefahr, sich für die falsche Variante zu entscheiden (8):

Wie in der gesamten Sinnesphysiologie gilt ebenso im auditiven System, dass jede Rezeption von Information gleichzeitig Verarbeitung dieser Information ist. In der Regel ist man vertrauter mit diesem Prinzip im Bezug auf den optischen Sinn. Die bekannten schwarz-weißen „Kippbilder“ (siehe Abbildung 13.b), die von einem Augenblick zum nächsten aus einem Kerzenständer zwei symmetrische Gesichter werden lassen, zeigen deutlich auf, dass stets nur eine einzige Möglichkeit der Interpretation sensorischer Information zugelassen wird, die andere hingegen unterdrückt wird. Beide Möglichkeiten gleichzeitig zu sehen ist nahezu unmöglich. Bereits auf einer frühen Stufe der Verarbeitung muss das optische System die Muster einteilen und sich für nur eine Möglichkeit der Auslegung entscheiden. (Abbildung 13.a) (13)

In analogen Versuchen für den Hörsinn wurden Probanden Sätze vorgespielt, wobei in einem sinntragenden Wort der erste Buchstabe durch ein kurzes „sch“ (graphisch: #) ersetzt wird, z. B. „An der Angel hängt ein kleiner #isch.“ und wird dennoch als „Fisch“ interpretiert und gehört. Im anderen Kontext wird in genau demselben Frequenzband „Tisch“ bzw. „Dach“ verstanden, d.h. ein Laut wird zwar als „sch“ rezipiert, je nach Kontext jedoch als s, f, d, oder t interpretiert. Durch den Kontext steht bereits fest, was gehört wird, bevor es gehört wird. (34, 36) Derartige Wechselwirkungen muten zwar befremdlich an, verdeutlichen aber, wie sehr die komplexen zentralen Methoden, Sprache zu verstehen, abhängig sind von vielen äußeren und inneren Faktoren, welche die Hörbereitschaft oder Hörerwartung und letztlich das Sprachverständnis beeinflussen können.



### Abbildungen 13.a und 13.b:

**a:** Bei der zentralen Informationsverarbeitung wird ein Inputmuster (z. B. Sprache) solange prozessiert, bis ein eindeutiges Ergebnis vorliegt. Graphik modifiziert nach (34);

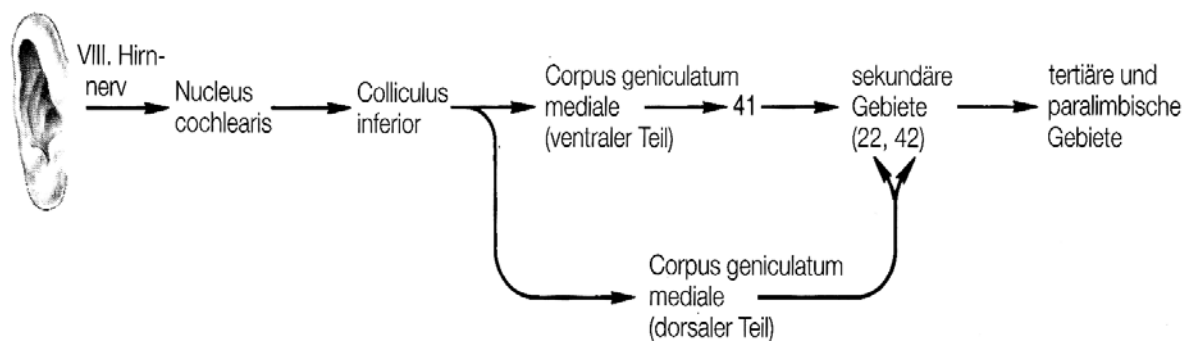
**b:** Bei konstanter sensorischer Information wechselt die Wahrnehmung zwischen zwei Deutungsmöglichkeiten (Vase/ Zwei Gesichter), aber es kann nur jeweils eine wahrgenommen werden. Kippfigur aus (13).

Auf dem Weg von der Cochlea muss die Information, die für die rezipierten Schallereignisse codiert, über den Thalamus zum Cortex geleitet werden. Dies erfolgt über 30.000 Nervenfasern an jedem einzelnen Ohr, welche die Information von 3500 Haarzellen empfangen. (36) Bereits vor dem Cortex



erfährt jede Bahn 5 bis 6 neuronale Umschaltungen, die durch Divergenz und Konvergenz die Information immer weiter transformieren, so dass ungefähr eine Million Nervenzellen bereits subkortikal an der auditorischen Verarbeitung beteiligt sind. Auf diese Art und Weise erhält der auditorische Cortex, der weitere 100 Millionen Nervenzellen besitzt, adäquates Material, welches nun weiter in primärer und sekundärer Hörrinde prozessiert werden kann, um in höhere Assoziationsgebiete weitergeleitet zu werden. (41, 36) Das Endergebnis ist jedoch, wie bereits erläutert, eindeutig. Den Weg der Informationsverarbeitung demonstriert Abbildung 14.

Betrachtet man den komplexen Verarbeitungsweg der Sprache im menschlichen Gehirn und bedenkt die enorme Flexibilität der Interpretation von akustischen sprachlichen Reizen, so erscheint die Übereinstimmung zwischen der eigenen Einschätzung der Hörleistung und dem objektiv ermittelten Ergebnis des Satzverständnisses in der vorliegenden Arbeit überraschend hoch. Dieser Zusammenhang weist hin auf die gute Validität des angewandten Tests.



**Abbildung 14:** Die Hauptwege der Hörbahn (13)

### 4.3 Signal/Rausch-Abstand bei SRT

Der Signal/Rausch-Abstand kann als direktes Maß für die

Diskriminationsfähigkeit verwendet werden. Errechnet wurde bei 50%igem Satzverständnis für alle Probanden ein Wert, der etwas über der Schwelle von Signal zu Rauschen liegt (+0,3 dB). Dieser Wert kann kaum einen direkten Vergleich mit den Ergebnissen anderer Arbeiten eingehen, da die Bedingungen anderer Arbeiten doch höchst unterschiedlich waren. Der HSM-Test als relativ junger Sprachtest ist erst in wenigen Arbeiten verwendet worden, von denen einige zum Zeitpunkt der Entstehung dieser Arbeit noch nicht veröffentlicht wurden. Des weiteren ist die hier angewandte Methodik meines Wissens nach noch nicht in der Sprachaudiometrie verwendet worden, so dass sich - abgesehen von der Arbeit meiner Kollegin Wegener - Vergleiche kaum anstellen lassen.

Trotz der beschriebenen guten Korrelation gab es innerhalb der Gruppe allerdings doch recht deutliche Schwankungen in den S/N-Werten. Bei einer Standardabweichung von 1,9 lagen 18 Probanden innerhalb der einfachen Standardabweichung, 6 innerhalb der doppelten, der Signal-Rausch-Abstand eines Probanden lag mit + 5,0 dB außerhalb der doppelten Standardabweichung. Obwohl alle Beteiligten sich als normalhörend einstufen, zeigen die Werte die große Streuung innerhalb presbyakuter Personen, wahrscheinlich größtenteils bedingt durch die breite Palette der Ätiologien und Faktoren, welche den Hörverlust im Alter mitbedingen, wie dies im Rahmen der Einleitung bereits erläutert wurde.

Bedeutung erhalten die Werte, werden ihnen die Ergebnisse des jungen Probandenkollektivs von Wegener (38) gegenübergestellt. Hier zeigt sich ein signifikanter Unterschied, der sich in der Differenz der Mittelwerte von 5,0 dB niederschlägt. Die Probanden erreichten also erst nach einer Erhöhung der Signallautstärke um 5 dB ein 50%iges Satzverständnis verglichen mit den jungen Probanden. Es zeigt sich somit, dass die Testanordnung geeignet zu sein scheint, um Unterschiede in der Satzverständlichkeit zwischen Probandengruppen aufzuzeigen, von denen unterschiedliche Verständnisseleistungen erwartet werden. Die Erwartung, dass presbyakute Probanden schlechter abschneiden als junge Normalhörende konnte somit bestätigt werden.

#### **4.4 Signal/Rausch-Abstand bei unterschiedlichem Lärmpegel**

Vergleicht man die Ergebnisse der unterschiedlichen Einstellungen des Störlärms, so zeigt sich eine Verbesserung der Verständlichkeit, wenn der Pegel des Störrauschens von 60 dB auf 80 dB erhöht wird. Diese Verbesserung schlägt sich nieder in einer Verringerung des Signal/Rausch-Abstandes.

Durchschnittlich wurden bei einem Störlärm von 60 dB ein Signal/Rausch-Abstand von 1,5 dB ermittelt, bei dem die 50%-Satzverständlichkeit erreicht wurde. Nachdem der Noise-Pegel auf 80 dB erhöht wurde, mussten sich selbstredend auch die Absolutwerte des Sprachsignals erhöhen. Obwohl dies zwar zu beobachten war, fiel die Erhöhung jedoch nicht so stark aus, um wieder gleiche S/N-Wert zu erlangen. So wurden bei einem Störschall von 80dB bereits bei einem durchschnittlichen S/N-Wert von  $-0,9$  dB die 50% Schwelle erreicht, also durchschnittlich 2,4 dB früher verglichen mit der leisen Einstellung.

Einen ähnlich starken Effekt konnte Wegener ebenfalls beobachten.

#### **4.5 Signal/Rausch-Abstand bei unterschiedlicher Satzlänge**

Betrachtet man die Werte, welche die Verständlichkeit in bezug auf die Satzlänge beschreiben, so zeigt sich in der vorliegenden Arbeit ein Effekt, der bereits an anderer Stelle beobachtet werden konnte. (29) Lange Sätze werden von Hochtenschwerhörigen deutlich besser verstanden als kurze Sätze. Wohingegen die kürzesten Sätze mit 3 Worten pro Satz lediglich zu 38,1% verstanden wurden, lagen die Ergebnisse der 8-Wort-Sätze mit 56,0% sehr viel höher. Dieser interessante Effekt wird verständlich, ruft man sich die zuvor erläuterten Verarbeitungsprinzipien ins Gedächtnis. Durch den Mangel an Kontext werden die schlecht verstandenen Worte leichter komplett durch andere Assoziationen ersetzt. So wurde z. B. an Stelle von dem Satz „Ist es warm?“ der Satz „Ist das wahr?“ verstanden; ebenso wurde „Haben Sie

Hunger?“ zu „Geht sie ungern?“. Hier hat der Proband nur sehr wenig Hilfestellung, durch Kombination von einem verstandenen Teil doch noch den Sinn zu erschließen. Hingegen macht der Satz „Ja, eine Fußballmannschaft besteht aus elf Spielern“ relativ wenig Probleme, da das Verständnis eines Teils den anderen geradezu bedingt. Natürlich spielt in diesem Beispiel ebenfalls die extrem populäre Stellung des Fußballsports eine Rolle.

Erstaunlicherweise zeigen die Ergebnisse von Wegener, dass diese Diskrepanz zwischen kurzen und langen Sätzen bei jungen Probanden nicht besteht. Über die Gründe kann man nur spekulieren. So könnte man sogar für das Probandenkollektiv im Alter um die 60 Jahre ein gegenteiliges Ergebnis erwarten, nämlich eine schwächere Quote für die langen Sätze gegenüber den kurzen, wenn man eine Verschlechterung des Kurzzeitgedächtnisses im Alter in Betracht annimmt. Dass es dennoch zu den beobachteten Ergebnissen kam, muss wahrscheinlich auf die höhere Kombinationsfähigkeit des jungen Probandenkollektivs zurückzuführen sein.

Darüber hinaus schienen die älteren Probanden im Laufe der Messungen eher dazu zu neigen, in ihrer Selbsteinschätzung die extremen Bewertungen 0% bzw. 100% zu bevorzugen, also auf spekulative Antworten leichteren Herzens verzichteten als dies bei den jungen der Fall war. Vielmehr ließen sie die Lautstärke solange durch die Antwort „0%“ ansteigen, bis sie den Testsatz deutlich verstehen konnten. Vielleicht war dieses Verhalten verantwortlich dafür, dass die ohnehin schwierigeren, da kontextarmen, kurzen Sätze zusätzlich als schlecht verstanden bewertet wurden.

#### **4.6 Ausblick auf Anwendungsmöglichkeiten und weitere Arbeiten**

Bislang wurde die verwendete Testmethodik ausschließlich in der Tonaudiometrie angewandt. Sie wurde entwickelt von Georg von Békésy, der die Apparatur automatisierte und somit ein großangelegtes, leicht durchführbares Scanning in industriellen Betrieben oder Schulen ermöglichte.

(2,18) Analog zu Békésy wäre durch Computerunterstützung eine Automatisierung im hier vorliegenden Versuch ohne Schwierigkeiten denkbar. Der Methodik muss aber hier noch keine Grenzen gesetzt sein. In der Auswahl der Probanden wurde versucht, möglichst von expliziten Hörschäden verschonte Personen miteinzubeziehen, welche insofern weitestgehendst neben ihrer physiologischen Presbyakusis keine pathologische Altersschwerhörigkeit aufwiesen. Der gleiche Aufbau ließe es aber ebenfalls zu, Hörgeräteträger unter Bedingungen zu testen, welche im großen Maße realitätsnah zu werten sind. Gerade in der Qualitätssicherung von Hörgeräten existieren weder gemeinsame Richtlinien noch standardisierte Tests. (37, 19, 20) Aufgrund der hohen Automatisierbarkeit ist der vorliegende Test geradezu prädestiniert dazu, als genormter Test diese Lücke zu schließen. Dazu sind noch weitere Untersuchungen nötig, welche die Übertragbarkeit meiner Ergebnisse sowie die meiner Kollegin Wegener auf Hörgeräteträger nachweisen sollten. Denkbar wären sowohl Reihenuntersuchungen, die den Vergleich zwischen verschiedenen Hörgerätemodellen zuließen, als auch die Testung von verschiedenen konkreten Modellen am einzelnen Patienten, um das geeignetste Modell für ihn zu identifizieren.

## 5 Zusammenfassung

An 25 Probanden im Alter zwischen 55 und 65 Jahren wurde der HSM-Satztest mit CCITT-Rauschen als Störsignal im Freifeld in der Camera Silens der HNO-Klinik Würzburg durchgeführt. Die fortlaufende subjektive Einschätzung ihrer Hörleistung beeinflusste im Verlauf des Tests den Signal/Rausch-Abstand, dessen Wert sich der 50%igen Sprachverständnisschwelle annähern sollte.

Ziel dieser Arbeit ist es, diesen Zusammenhang zu überprüfen sowie signifikante Unterschiede im Diskriminationsvermögen der presbyakuten Probanden im Vergleich zu den Normalhörenden der Arbeit von Wegener nachzuweisen.

Trotz der Vielzahl der beeinflussenden Faktoren auf das Sprachverständnis stimmten die gemessenen Daten gut mit den Erwartungswerten überein und das Modell erwies sich als sehr aussagekräftig. Des weiteren konnte der erwartete Diskriminationsverlust gegenüber der normalhörenden Gruppe beobachtet werden ebenso wie ein beschriebener Diskriminationsverlust für kontextarme kurze Sätze.

Langfristig bietet sich die untersuchte Methodik als standardisierbarer und in hohem Masse durch Computerunterstützung automatisierbarer Sprachtest an, der erfolgreich in der Hörgeräteanpassung Verwendung finden könnte. Weitere, dieses Ziel verfolgende Studien sind bereits aufgenommen worden.

## 6 Literaturverzeichnis

- (1) Becker, W., Naumann, H., Pfaltz, C. R.: Hals-Nasen-Ohren Heilkunde.  
4. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 1989
- (2) Békésy, G. von (1947): A New Audiometer.  
Acta Oto-Laryngologica 35, S. 411-422
- (3) Boenninghaus, H.- G.: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde für  
Medizinstudenten.  
9. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris,  
Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest, 1993
- (4) Brinkmann, K. (1974): Die Neuaufnahme der „Wörter für Gehörprüfung  
mit Sprache“.  
Audiologische Akustik 13, S. 12-39
- (5) Evans, P. I. P.: Speech Audiometry for Differential Diagnosis.  
In Martin, M.: Speech Audiometry.  
1. Auflage, Taylor & Francis, London, 1987
- (6) Federspil, P.: Toxische Schäden des Innenohrs.  
in Naumann, H.: Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis. Band 1 Ohr.  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1994
- (7) 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
- (8) Hahlbrock, K.- H.: Sprachaudiometrie.  
2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1970

- (9) Jindrich, R. (1993): Sprachverstehen im Störlärm mit dem Marburger Satztest auf Compactdisc bei Altersschwerhörigen ohne Hörgerät. Dissertation, Würzburg.
- (10) Katz, J.: Handbook Of Clinical Audiology.  
4. Auflage, Williams & Wilkins, Baltimore, Philadelphia, Hongkong, London, München, Sydney, Tokio 1994
- (11) Kießling, J.: Hörgeräteauswahl und –anpassung.  
aus Lehnhardt, E.: Praxis der Audiometrie.  
7. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1996
- (12) Kluger, H.- A. (1974): Gedanken zur Psychologie des Schwerhörigen Menschen.  
Audiologische Akustik 13, S.140-148
- (13) Kolb B. und Wishaw I. Q.: Neuropsychologie.  
2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1996
- (14) Lehnhardt, E.: Sprachaudiometrie.  
in Lehnhardt, E.: Praxis der Audiometrie.  
7. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1996
- (15) Lehnhardt, E. und Koch, T.: Altersschwerhörigkeit.  
In Naumann, H.: Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis. Band 1  
Ohr.  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1994
- (16) Lutman, M. E.: Speech Tests in Quiet and Noise as a Measure of Auditory Processing.  
In Martin, M.: Speech Audiometry.  
1. Auflage, Taylor & Francis, London, 1987



- (17) Manger: Präzision in Schall.  
Informationsbroschüre des Herstellers mit technischen Daten. Siehe auch  
<http://www.manger-msw.com>.
- (18) Melnick, W.: Industrial Hearing Conservation.  
In Katz, J.: Handbook Of Clinical Audiology.  
4. Auflage, Williams & Wilkins, Baltimore, Philadelphia, Hong Kong,  
London, Munich, Sydney, Tokyo, 1994
- (19) Moser, L. (1987): Das Würzburger Hörfeld, ein Test für die prothetische  
Audiometrie.  
HNO 35, S.318-321
- (20) Moser, L. (1991): High Tech und niedriges Ansehen.  
Audiologische Akustik 30, S. 118, 119
- (21) Niemeyer, W.: Kleines Praktikum der Audiometrie für medizinische  
Assistenzberufe.  
3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart,  
1979
- (22) Ostermann, R. und Wolf-Ostermann, K.: Statistik für Studierende der  
Sozialarbeit und Sozialpädagogik.  
2. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1999
- (23) Plath, P. (1974): Der Einfluss des Alterns auf das Satzverständnis.  
Audiologische Akustik 13, S.2-10
- (24) Platte, H.- J., Döring, W. H., Schlöndorff, G. (1978): Richtungshören und  
Sprachverstehen unter Störschalleinfluss bei „Normalhörenden“.  
Laryngologie, Rhinologie, Otologie 57, S.672-680

- (25) Poeck K. und Hacke W.: Neurologie.  
10. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1998
- (26) Schlöndorff, G. und Tegtmeier, W. (1971): Ein audiometrischer Test zur Bestimmung des zentralen Aufwandes beim Sprachverstehen.  
Zeitschrift für Laryngologie, Rhinologie, Otologie 50, S. 663-667
- (27) Schorn, K. und Stecker, M.: Hörprüfungen.  
in Naumann, H.: Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis. Band 1 Ohr.  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1994
- (28) Schorn, K. und Zwicker, E. (1986): Klinische Untersuchungen zum Zeitauflösungsvermögen des Gehörs bei verschiedenen Hörschädigungen.  
Audiologische Akustik 25, S. 170-184
- (29) Schuh, H. (1999): Ausgewogenheit des Hochmair-, Schulz-, Moser-Satztests bei normalhörenden Personen zwischen 40 und 60 Jahren.  
Dissertation, Würzburg.
- (30) Schuknecht, H. (1955): Prebycusis.  
The Laryngoscope 65, S. 403-419
- (31) Schuknecht, H. (1964): Further Observations on the Pathology of Presbycusis.  
Archives of Otolaryngology 80, S. 369-382
- (32) Schulz-Coulon, H.- J. (1973): Über die Bedeutung des Umweltgeräusches für den Hochtenschwerhörigen.  
HNO 21, S. 26-32
- (33) Schulz-Coulon, H.- J. (1974): Sprachaudiometrie mit Sätzen und Geräuschen.

Laryngologie, Rhinologie, Otologie 53, S. 749-756

- (34) Spitzer, M.: Geist im Netz.  
1. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford,  
1996
- (35) Statistisches Jahrbuch 2001 für die Bundesrepublik Deutschland.  
Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.), Metzler-Poeschel-Verlag,  
Stuttgart, 2001
- (36) Warren, R.: Auditory Perception: A new analysis and synthesis.  
Cambridge University Press, Cambridge , New York, Melbourne, 1999
- (37) Wedel, H. von (1986): Entsprechen die sprachaudiometrischen  
Untersuchungsverfahren den heutigen Anforderungen in Klinik und  
Praxis?  
HNO 34, S. 71-74
- (38) Wegener, J. (2003): 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.  
Dissertation in Vorbereitung, Würzburg
- (39) Welzl-Müller, K. (1981): Der Einfluss des Störlärms auf die  
Satzverständlichkeit.  
Laryngologie-Rhinologie 60, S. 117-120
- (40) Wright, R.: Basic Properties of Speech.  
In Martin, M.: Speech Audiometry.  
1. Auflage, Taylor & Francis, London

- (41) Zenner, H.- P.: Physiologische und biochemische Grundlagen des normalen und des gestörten Gehörs.  
in Naumann, H.: Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis. Band 1 Ohr.  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1994
- (42) Zwicker, E. (1986): Das Zeitaufhebungsvermögen des Gehörs – eine zweckmäßige Meßmethode im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit.  
Audiologische Akustik 25, S. 156-169
- (43) Zwicker, E., Fastl, H.: Psychoacoustics.  
Second Updated Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York,  
1999

## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name	Marcel Romanos
Geburtsdatum	05.01.1975
Geburtsort	Memmingen
Familienstand	ledig
Konfession	röm.-kath.

### Schulbildung

1981-1985	Grundschule Theodor-Heuss, Memmingen
1985-1994	Vöhl-Gymnasium, Memmingen

### Bundeswehrdienst

1994/1995	Gebirgssanitätsbataillon 8, Kempten Lehrgänge: Sanitätslehrgang I (Kempten) und II (Amberg)
-----------	--

### Hochschulausbildung

1995-1997	Vorklinisches Studium der Humanmedizin an der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg
1997/98	Klinisches Studium der Humanmedizin an der Universität Hamburg
1998-2002	Klinisches Studium der Humanmedizin an der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg
06/2002	Abschluss des Studiums
Promotion	Prof. Dr. Helms HNO Universitätsklinik Würzburg Sprachaudiometrische Satztests bei 55-65jährigen Probanden Rigorosum voraussichtlich Frühjahr 2004

### Praktische Erfahrung

07/1995-09/1995	Sanitätssoldat im San-Bereich, Gebirgssanitätsbataillon 8, Kempten
03/1998	Famulatur, allgemeinmedizinische Arztpraxis Würzburg
08/1998	Famulatur, neurologische Arztpraxis Würzburg
09/1999	Famulatur, Neurologie, Hospital dos Servidores do Estado, Rio de Janeiro, Brasilien
04/2000	Famulatur, Psychiatrie III, Universitätsklinik Ulm
04-08/2001	1. PJ-Tertial, Innere Medizin, Universitätsspital Zürich, Schweiz
08-12/2001	2. PJ-Tertial, Chirurgie, Hospital de Santa Maria, Lissabon, Portugal
12/2001-03/2002	3. PJ-Tertial, Kinder- und Jugendpsychiatrie, Universitätsklinik Würzburg
seit 08/2002	Arzt im Praktikum, Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie und -psychotherapie der Universität Würzburg

### Sprachen

Englisch, Französisch, Portugiesisch

