



Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften  
Studiengang Medizintechnik / Hörgeräteakustik



# Diplomarbeit



**Verfasser: Anna-Lena Hinze**  
**Betreuer: Prof. Dr. Jürgen Tchorz**  
**Prof. Dr. Norbert Dillier**

**Datum der Abgabe: 02.11.2007**

## Diplomarbeit

**Thema:** Hörgeräteanpassung im Wandel –  
Vergleich und Bewertung von verschiedenen Messverfahren im  
Störgeräusch

### Zusammenfassung:

Trotz einer Versorgung mit digitalen Hörgeräten zeigen viele Schwerhörige große Sprachverständlichkeitsprobleme in geräuscherfüllten Umgebungen. Der Hörgeräteakustiker wendet bei der Hörgeräteanpassung Messverfahren an, die traditionell tief verwurzelt und teilweise vorgeschrieben sind. Für eine realistische Beurteilung der Hörgeräteanpassung wäre es aber notwendig, spezifische akustische Situationen in geeigneter Weise während einer Anpassung zu simulieren und reproduzierbar in die Anpasskabine einzubringen, ohne dabei die Messung künstlich und trocken erscheinen zu lassen.

Die Zielsetzung dieser Diplomarbeit ist es, einen Vergleich von bestehenden Messverfahren im Störgeräusch durchzuführen und betreffend der Anforderungen an ein geeignetes Messverfahren eine Einschätzung abzugeben.

Für diesen Vergleich der Messverfahren im Störgeräusch wurden zwei Satztests und die Messung der Höranstrengung mit fünf Normalhörenden und 20 Hörgeräteträgern durchgeführt. Jedes der drei Messverfahren wurde in vier verschiedenen Lautsprecherkonfigurationen und mit einem Störgeräuschpegel von 65 dB (A) getestet.

Die am Universitätsspital Zürich durchgeführten Probandenmessungen zeigten für die normalhörende Gruppe, die während der Messungen und der Wiederholung keine Hörgeräte trugen, hochsignifikante Unterschiede zwischen den vier Lautsprecherkonfigurationen bei den Satztestmessungen, was für einen Einfluss der vier verschiedenen Lautsprecherkonfigurationen spricht. Teilweise ergaben die Wiederholungsmessungen keine Signifikanz bei der Gegenüberstellung der einzelnen Lautsprecherkonfigurationen. Anscheinend lässt sich der eine Satztest gut wiederholen, während der andere keine zuverlässige Reliabilität aufwies. Die Messung der Höranstrengung lieferte für den Test/ Retest eine starke Korrelation der Messwerte für die vier Lautsprecherkonfigurationen.

Die binaural versorgten Hörgeräteträger trugen während der Messungen die eigenen Hörgeräte und die individuellen Hörgeräteeinstellungen wurden nicht verändert. Die Unterschiede zwischen den vier Lautsprecherkonfigurationen bei den Satztestmessungen waren signifikant, jedoch deutlich geringer als bei den Normalhörenden. Dieses Ergebnis deutet an, dass Hörgeräteträger trotz ihrer Hörgeräteversorgung weniger vom Effekt der binauralen Signalverarbeitung des Gehörs profitieren. Die Messung der Höranstrengung wurde von allen Probanden positiv angenommen und könnte für den Hörgeräteakustiker sowie für seinen Patienten viele zusätzliche Vorteile und Möglichkeiten bei der Hörgeräteanpassung bedeuten.

**Verfasser:** Anna-Lena Hinze  
**Betreuer:** Prof. Dr. Jürgen Tchorz  
Prof. Dr. Norbert Dillier

**Datum der Abgabe:** 02.11.2007

---

## Erklärung zur Diplomarbeit

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe verfaßt habe.

Bei der Abfassung der Arbeit sind nur die angegebenen Quellen benutzt worden.  
Wörtlich oder dem Sinne nach entnommene Stellen sind als solche gekennzeichnet.

Lübeck, 02. November 2007

---

Anna-Lena Hinze

Ich bin damit einverstanden, dass meine Arbeit veröffentlicht wird, insbesondere dass die Arbeit Dritten zur Einsichtnahme vorgelegt wird oder Kopien der Arbeit zur Weitergabe an Dritte angefertigt werden.

Lübeck, 02. November 2007

---

Anna-Lena Hinze

---

## Danksagung

Allen Menschen, die an dieser Diplomarbeit mitgewirkt, mich tatkräftig unterstützt haben und die mit mir durch Höhen und Tiefen in dieser Zeit gegangen sind, gilt mein ganzer Dank:

Herrn Prof. Dr. Jürgen Tchorz für die Kontaktaufnahme zum Universitätsspital Zürich, die Betreuung der Diplomarbeit von Lübeck aus und dass die Hörgeräteakustik vorangetrieben wird.

Den Mitarbeitern der ORL-Klinik des Universitätsspitals Zürich, die mich während der Probandenmessungen unterstützt haben, mir mit Tips und Ratschlägen zur Seite standen, die die Probandenrekrutierung mit organisiert haben oder mich einfach nur so aufgeheitert haben und mir damit einen sehr angenehmen Aufenthalt in Zürich ermöglichten.

Besondes möchte ich mich bei Dr. Michael Büchler, Dr. Wai-Kong Lai, Prof. Dr. Norbert Dillier und Prof. Dr. Rudolf Probst bedanken.

Den Probanden, die sich für die Messungen bereit gestellt haben und ohne deren Mitwirken diese Diplomarbeit nicht zustande gekommen wäre.

Den Auftraggebern der Akustiker und HZV, die die Idee zu diesem Projekt hatten und die nötigen finanziellen Mittel bereit stellten und besonders Frau Dr. Brigitte Schwaller-Parodi von der GSPK.

Meiner Familie und meinen Freunden, die an dem erfolgreichen Abschluss meines Studiums einen großen Einfluss nehmen. Ich danke Euch, dass Ihr an mich geglaubt habt und mich stets unterstützt habt.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung und Aufgabenstellung</b>	<b>2</b>
1.1	Motivation	2
1.2	Ziel dieser Diplomarbeit	2
1.3	Grundlegendes zum Thema Hören	3
<b>2</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>6</b>
2.1	Grundlagen	6
2.2	Satztests	10
2.3	Höranstrengung (Listening Effort)	14
<b>3</b>	<b>Vorgehensweise und Messaufbau</b>	<b>16</b>
3.1	Planung der Probandenmessungen	16
3.2	Ein- und Ausschlusskriterien der Probanden	17
3.3	Auswahl der Satztests	20
3.4	Messung der Höranstrengung (Listening Effort)	24
3.5	Messraum und verwendete Hardware und Software	27
3.6	Lautsprecheranordnung und Störgeräuschmaterial	31
3.7	Kalibrierung und Überprüfung des Messaufbaus	33
<b>4</b>	<b>Durchführung der Messung</b>	<b>35</b>
4.1	Randomisierung	35
4.2	Probandeninstruktion	36
4.3	Versuchsablauf	37
<b>5</b>	<b>Messergebnisse</b>	<b>40</b>
5.1	Messergebnisse der normalhörenden Probanden	40
5.1.1	Auswertung der Satztests	41
5.1.2	Fragebogenauswertung Satztest	48
5.1.3	Auswertung der Höranstrengung	50
5.1.4	Auswertung des Fragebogens zur Messung der Höranstrengung	53
5.2	Messergebnisse der schwerhörigen Probanden	55
5.2.1	Auswertung der Satztests	57
5.2.2	Fragebogenauswertung Satztest	62
5.2.3	Auswertung der Höranstrengung	64
5.2.4	Fragebogenauswertung Höranstrengung	66
<b>6</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b>	<b>68</b>
6.1	Die vier Messanordnungen im Vergleich	68
6.2	Beurteilung der Höranstrengung	71
6.3	Zusammenfassung und Ausblick	74

---

<b>7</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>77</b>
7.1	Abbildungsverzeichnis .....	77
7.2	Tabellenverzeichnis .....	78
7.3	Quellennachweis .....	79
7.4	Verwendete Hardware und Software .....	82
7.5	Einweisungsformulare für die Probandeninstruktion .....	83
7.6	Formular für die Anamnese .....	86
7.7	Fragebogen nach den Satztests .....	87
7.8	Fragebogen nach der Höranstrengung .....	88
7.9	Messergebnisse der Satztests der Normalhörenden .....	89
7.10	Messergebnisse der Höranstrengung der Normalhörenden .....	90
7.11	Messergebnisse der Satztests der Hörgeräteträger .....	91
7.12	Messergebnisse der Höranstrengung der Hörgeräteträger .....	93



# 1 Zielsetzung und Aufgabenstellung

## 1.1 Motivation

Viele Schwerhörige können bei der Hörgeräteanpassung im Untersuchungsraum des Hörgeräteakustikers Sprache mit ihrem neuen Hörsystem gut verstehen, haben jedoch später in der mit Störlärm belasteten realen Welt grosse Sprachverständlichkeitsprobleme. Für eine realistische Beurteilung der Anpassung wäre es deshalb sinnvoll, spezifische akustische Situationen in geeigneter Weise bereits während der Anpassung zu simulieren und reproduzierbar in den Anpassraum einzubringen.

## 1.2 Ziel dieser Diplomarbeit

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, ein Messverfahren zu finden, das eine gezielte Überprüfung der Sprachverständlichkeitsverbesserung mithilfe von Hörgeräten im real simulierten Störlärm ermöglicht. Dabei soll dieses neue Verfahren bei der Wahl eines geeigneten Hörsystems die Arbeit des Hörgeräteakustikers unterstützen und den subjektiven Höreindruck des Patienten widerspiegeln. Zudem soll das Messverfahren valide, reliabel, kostengünstig in der Anschaffung und einfach im Aufbau sein, während die Belastung für den Patienten möglichst gering gehalten werden sollte.

Es soll hier kein neuer Satztest entwickelt werden. Vielmehr soll ein Weg aufgezeigt werden, auf welchem bestehende Messverfahren für neue Messbedingungen angewandt werden, um damit eine besser an die Alltagsumgebung angenäherte Testsituation herzustellen.

Es soll ein Vorschlag zur Vereinheitlichung der Testumgebung beim Hörgeräteakustiker erarbeitet werden, mit der die Hörgeräteanpassung im Störgeräusch sowohl objektiv als auch subjektiv angemessener beurteilt werden kann. Die Untersuchung durch den Hörgeräteakustiker soll einfach und zweckmässig durchführbar sein und die subjektiven Eindrücke des Patienten sollen ebenfalls in die Auswertung einfließen.

### 1.3 Grundlegendes zum Thema Hören

Wie ist es möglich, Sprache auch unter schwierigsten Bedingungen verstehen und beispielsweise aus einem großen Wirrwarr unterschiedlichster Signale und Störschalle detektieren zu können? Weshalb gibt es Menschen, die diese Fähigkeit scheinbar nicht besitzen?

Jeder Mensch kennt die Problematik, die sich in täglicher zwischenmenschlicher Kommunikation ereignet. Oft sind Teile eines Gesprächs nicht oder nur schwer zu identifizieren. Dieser Zustand wird durch eine geräuschvolle Umgebung zusätzlich erschwert [1]. Der Mensch bedient sich dann seines Allgemein- und Sprachwissens und kann so bis zu einem gewissen Grad akustisch nicht identifizierbare Sequenzen im Sprachsignal rekonstruieren. Normalhörende sind fähig, Sprache im mässig lauten Störgeräusch zu verstehen, da Sprache ein hoch redundantes Signal darstellt. Somit werden Lücken im Sprachsignalfluss überwunden und der Kontext des Gesprochenen wird verständlich [2].

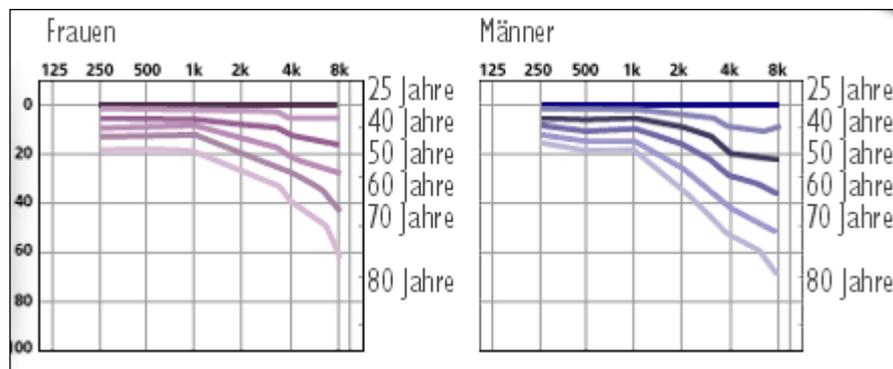
Allerdings ist für Schwerhörige diese Redundanz im Sprachsignal vermindert. Entweder sind Sprachanteile nicht mehr hörbar oder sie sind als Folge des Hörverlusts unvollständig und zerstückelt. Durch die Ueberlagerung von Störgeräuschen wird das Sprachsignal zusätzlich maskiert und die Verständlichkeit signifikant verschlechtert. Durch die geringere Redundanz können Maskierungseffekte des Störgeräusches nicht kompensiert werden. Als Konsequenz hieraus haben Schwerhörige, im Gegensatz zu Normalhörenden, größere Schwierigkeiten, Gesprochenes im Störgeräusch zu verstehen [1].

Zusätzlich haben Schwerhörige mit einer Innenohrschwerhörigkeit ein erhöhtes Defizit beim Sprachverstehen im Störgeräusch, da die binaurale Signalverarbeitung im geschädigten Gehör ebenfalls beeinträchtigt ist. Normalhörende können durch einen Vergleich zwischen den beiden Ohren Pegel- und Laufzeitunterschiede im Signal erkennen und so eine gewisse Störgeräuschunterdrückung durchführen [3]. In unterschiedlichsten Situationen des Alltags sind wir auf beide Ohren angewiesen, um uns im Raum zurecht zu finden. Dabei strömen viele Informationen auf unsere beiden Ohren ein. Ein Signal trifft in unterschiedlicher Weise auf unsere Ohren auf: Durch den Einfallswinkel, Pegelunterschiede (Reflexion und Beugung am Kopf) und Laufzeitunterschiede (Differenz in der Wegstrecke, die ein Signal von der Quelle zum einem bzw. anderem Ohr zurücklegen muss) im Signal, ist unser Gehör fähig, die Lage der Schallquelle im Raum richtig einzuschätzen.

Wie weit sind denn heutige Hörgeräte in der Lage, die Auswirkungen eines Schwerhörigkeit zu überwinden? Sollten sie den Schwerhörigen nicht vornehmlich ermöglichen, wieder am gesellschaftlichen Leben teilzunehmen? „Nur jeder fünfte Schwerhörige trägt Hörgeräte, das sind etwa drei Millionen Menschen in Deutschland“  
„Rund 15 Millionen Menschen haben eine deutliche Hörminderung“  
(Fördergemeinschaft Gutes Hören)

Studien des Deutschen Grünen Kreuzes [4] zeigen, dass in Deutschland etwa 14 Mio. Menschen an einer Hörstörung leiden, wobei aus verschiedenen Gründen lediglich jeder fünfte Schwerhörige Hörgeräte benutzt. In unserer Gesellschaft wird eine Hörgeräteversorgung immer noch unter negativen Gesichtspunkten betrachtet, ist oft gleichbedeutend mit alt, krank und behindert und stösst nach wie vor auf wenig Akzeptanz. Viele Schwerhörige wollen nicht zum alten Eisen zählen und verzichten lieber auf eine gute Kommunikationsfähigkeit. Oft werden erste Anzeichen einer Schwerhörigkeit lange Zeit ignoriert, sodass im Durchschnitt sieben Jahre [5, 6] vergehen, bis der Schwerhörige sich zu einer Hörgeräteversorgung durchringen kann. Schwerhörige unternehmen grosse Anstrengungen, um sich und anderen ein positives Selbstbildnis vorzugaukeln. Sie zeigen entweder eine Vermeidungstaktik oder dominieren sogar Kommunikationssituationen [4]. Dabei wäre es in vielen Fällen von Vorteil, wenn der Schwerhörige sich zu einer Hörgeräteversorgung entschliessen würde. Eine Verbesserung der Kommunikationsfähigkeit wie auch der Erhalt der sozialen Kompetenzen können mit Hörgeräten erreicht werden, sofern unterschwellige Vorbehalte abgebaut werden, welche den Gewöhnungs- und Rehabilitationsprozess behindern. Gründe für eine Ablehnung der Hörgeräteversorgung oder das konsequente Nichttragen der angepassten Hörgeräte (Schubladengeräte) können negative Einschätzungen der Leistungsfähigkeit der Hörsysteme sein sowie unrealistisch hohe Erwartungshaltungen der Schwerhörigen („Hören so wie früher“). Die Verbesserung der Kommunikation ist meist das erklärte Ziel einer Hörgeräteversorgung. Manchmal wird dieses Vorhaben aber nicht erreicht. Ein Grund hierfür können die degenerativen Prozesse der zentralen Hörverarbeitung sein. So beschreibt Hesse [7], dass ältere Menschen nicht generell schlecht hören, aber dass gewisse Altersabhängigkeiten festzustellen sind. Es scheint, dass die Sprachverständlichkeit gerade im Störgeräusch bei diesen Personengruppen deutlich mehr beeinträchtigt ist, obwohl dies die Hörschwelle aus der Tonaudiometrie nicht erwarten lässt. Die Ursache einer Schwerhörigkeit kann häufig nicht vollständig geklärt werden. Bei älteren Menschen tritt eine Schwerhörigkeit jedoch oft als Folge von umweltbedingten Einflüssen wie Lärm auf. Mit zunehmendem Alter kann es zu ausgeprägteren Höreinbußen kommen. Ohne erkennbaren Grund bildet sich schleichend und unbemerkt eine Innenohrschwerhörigkeit, besonders im Hochtonbereich, aus [4]. Führt die Leistungsabnahme zu einer Behinderung, nennt man dies Presbyakusis oder Altersschwerhörigkeit [8].

Eine Altersabhängigkeit des Hörverlusts ist in **Abb. 1-1** zu sehen. Die Darstellungen sind für Frauen und Männer getrennt dargestellt.



**Abb. 1-1:** Hörverlust in Abhängigkeit mit dem Alter, unterteilt nach Geschlecht [9]

Die Altersschwerhörigkeit hat allerdings weniger mit dem tatsächlichen Alter zu tun, als vielmehr mit der zunehmenden Abnutzung der Ohren. Die Abnutzung ist eine Teilkomponente der Altersschwerhörigkeit und wird als Soziakusis bezeichnet. Die Soziakusis entsteht durch genetische und metabolische Faktoren sowie durch unauffällige Schädigungen als Folge von Mangel durchblutungen des Innenohres, gelegentlicher Lärmbelastigungen, ototoxischer Medikation und Stoffwechselkrankheiten [8].

Manchmal trägt aber auch das Verhalten der Hörgeräteakustiker zum schlechten Bild der Hörgeräte bei. Durch übertriebene Werbeversprechen und/oder mangelhafte Hörgeräteanpassungen und Nachbetreuungen, bei denen vordergründig wirtschaftliche Aspekte im Vordergrund stehen, werden vorherrschende Negativmeinungen der Gesellschaft aufrecht gehalten.

Gerade deshalb sollte die Qualität einer Hörgeräteversorgung dahingehend verbessert werden, dass der Patient sich in seinen Problemen verstanden fühlt und der Hörgeräteakustiker möglichst schnell seinem Ziel nahe kommt, die bestmögliche Hörgeräteeinstellung für seinen Patienten zu finden. Gerade dafür benötigt der Hörgeräteakustiker zuverlässige Messmethoden, die einer alltäglichen Hörsituation des Patienten möglichst nahe kommen. Bei der Einführung neuer Verfahren muss selbstverständlich berücksichtigt werden, dass die Methodik valide, reliabel und kostengünstig in der Anschaffung sein sollte, um in der Praxis auch akzeptiert zu werden.

Es lassen sich also folgende Anforderungen an ein neues Messverfahren festhalten:

- Eine natürliche Kommunikationssituation soll angenähert werden (die Fähigkeit, Sprache zu verstehen kann nicht nur mit einzelnen Wörtern oder Vokal-Konsonanten-Tests in ruhiger Umgebung überprüft werden).

- Das Messverfahren sollte eine objektive Beurteilung der Fähigkeiten zur Spracherkennung ohne und mit Hörgeräten erlauben.
- Die subjektive Einschätzung des Patienten soll in die Messung mit einfließen.
- Das Verfahren soll valide, reliabel und kostengünstig in der Anschaffung sein.

Um die erste Anforderung „natürliche Kommunikationssituation“ zu erfüllen, sollten Satztests im Störgeräusch zum Einsatz kommen. Satztests finden in der üblichen Praxis bisher aus verschiedenen Gründen kaum Anwendung. Menschliche Kommunikation spielt sich aber häufig in ganzen Sätzen oder mindestens in der Abfolge mehrerer Worte ab.

Seit einigen Jahren bieten auch Hörgerätehersteller innerhalb ihrer Fittingsoftware die Möglichkeit an, den Patienten Klangbeispiele vorzuspielen, umdadurch verschiedene akustische Umgebungen in einem ruhigen Anpassraum zu simulieren. Leider werden diese Klangbeispiele der Hörgerätehersteller von den schwerhörigen Patienten häufig nicht so gut akzeptiert. Viele Patienten und auch deren Angehörige haben Probleme, die verschiedenen akustischen Situationen zu erkennen und zuzuordnen. Ein anderer wichtiger Ansatzpunkt ist das Real-Life-Fitting. Bei diesem neueren Verfahren bietet der Hörgeräteakustiker nicht nur Klangbeispiele an, sondern unterstützt diese mit passenden Videos, damit sich der Patient besser in die simulierte Situation hineinversetzen kann. Durch diese interaktive Hörgeräteanpassung findet die subjektive Komponente des Patienten stärkere Beachtung und fließt direkt in die Hörgerätefeinanpassung mit ein. Der Patient fühlt sich besser verstanden und kann so Vorbehalte gegenüber dem Hörgerät abbauen. Zudem kann der Hörgeräteakustiker dem Patienten durch das Real-Life-Fitting die volle Palette an Einstellmöglichkeiten der digitalen Hörgeräte aufzeigen. Allerdings kann das Real-Life-Fitting nicht die grundlegenden audiometrischen Messungen ablösen. Es ist vielmehr ein Werkzeug, um dem Hörgerät in der Anpassung den letzten Schliff zu geben [10].

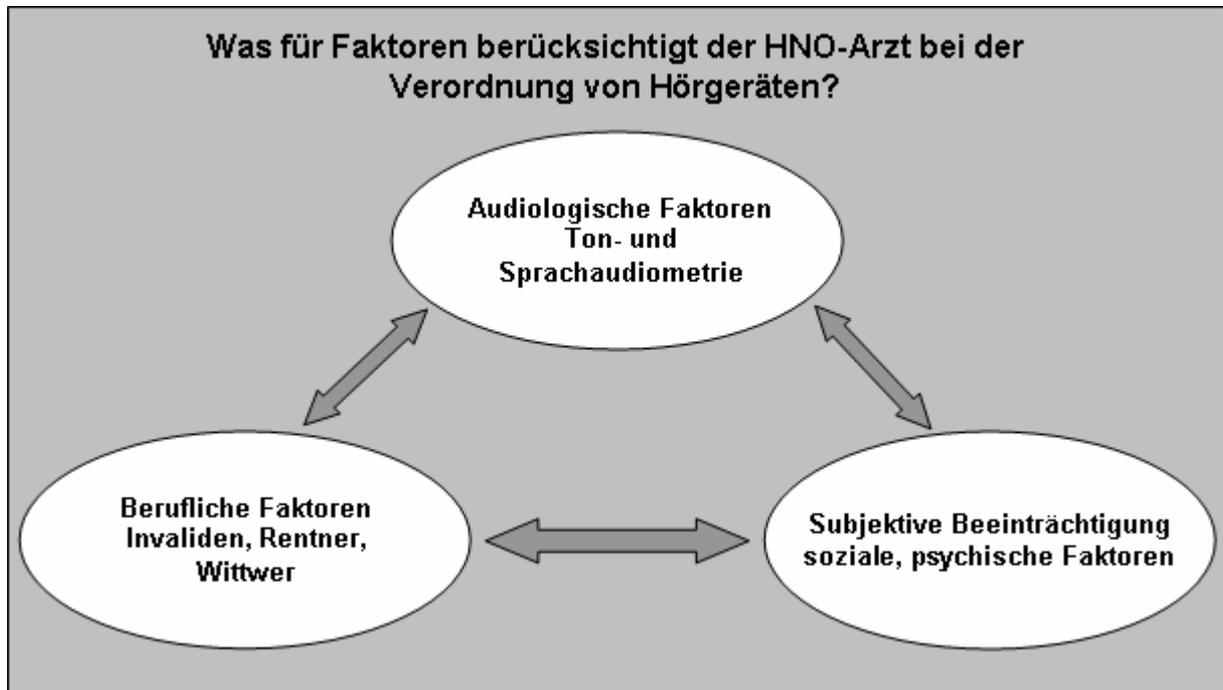
Die Audiometrie ist also immer noch auf der Suche nach einem Messverfahren, das objektive sowie subjektive Komponenten des Patienten in einem Verfahren vereint und welches sich als Standard für die Anpassung und Überprüfung von Hörgeräten etablieren könnte.

## **2 Hintergrund**

### **2.1 Grundlagen**

Der Weg für einen Schwerhörigen zu einem Hörgerät verläuft in der Schweiz ähnlich wie in Deutschland. Dabei beinhalten die Begutachtung der audiologischen Fragestellungen, die der HNO-Arzt vornimmt, neben den rein audiologischen Fakten eine Berücksichtigung der beruflichen Situation und der subjektiven Beeinträchtigung. Die Berücksichtigung dieser Faktoren sind in **Abb. 2-1** dargestellt. Aufgrund der

Untersuchungsergebnisse bezüglich all dieser Faktoren erfolgt eine Einstufung in eine von 3 Klassen, den so genannten Indikationsstufen [11].



**Abb. 2-1:** Die drei Beeinträchtigungen, die in der schweizerischen Hörgeräteanpassung Berücksichtigung finden [11]

Der Schwerhörige stellt sich hiernach bei einem Hörgeräteakustiker seiner/ihrer Wahl vor. Es werden neben einer Anamnese ton- und sprachaudiometrische Untersuchungen vorgenommen und das Sprachverständnis im Freifeld ausgetestet. Der Hörgeräteakustiker sucht unter Berücksichtigung der Kundenwünsche ein optimales Hörgerät heraus und vergleicht mit dem Schwerhörigen weitere Hörsysteme. Um das für jeden einzelnen Kunden ein optimal angepasstes Hörgerät zu ermitteln, bedarf es einer sorgfältigen Hörgeräteauswahl, Anpassung und Feinanpassung, Folgeanpasstermine und einer gründlichen Nachbetreuung. Insgesamt kann dies einen erheblichen Zeitaufwand bedeuten.

Im deutschsprachigen Raum werden standardisierte Prüfmaterialien, die auf der DIN-ISO-Norm 8253-3 (audiometrische Prüfverfahren Teil 3, Sprachaudiometrie) und DIN 45624 basieren, verwendet. Damit möchte man in der audiometrischen Begutachtung vergleichbare Messergebnisse zwischen den verschiedenen Institutionen sicherstellenn. In der DIN 45624 findet man die wichtigsten technischen Eigenschaften von Sprachaudiometern. Erwähnt werden sollte hier, dass eine audiometrische Untersuchung sowohl mit Kopfhörern als Luftleitungsmessung, mit Knochenhörern zur Ermittlung der Knochenleitung oder mittels Lautsprechern im freien Schallfeld durchgeführt werden kann. In der Hörgeräteanpassung sowie in ihrer Überprüfung findet überwiegend der Freiburger Sprachverständlichkeitstest nach DIN 45621 breite Anwendung. Ebenfalls genormt ist der Marburger Sprachverständlich-

keitstest nach DIN 45621, Teil 2. Dieser Satztest verliert zunehmend an Bedeutung und kommt in der Praxis kaum noch zum Einsatz. In der Fachwelt der Audiologie kam es in den letzten Jahren zu vermehrter Kritik an Materialien und Durchführung von Sprachtests. Es wurden sowohl für Kinder als auch für Erwachsene neue Sprachtestverfahren entwickelt und zum Teil auch evaluiert. Viele dieser Sprachtests sind so gut evaluiert, dass sie in Zukunft möglicherweise die genormten Sprachtestverfahren ablösen werden. Ein Hinderungsgrund für diese Ablösung war bisher, dass die neuen Sprachtestverfahren noch keine DIN-Norm-Anerkennung erhalten haben und deshalb auch keinen Eingang in audiometrische Hard- und Softwareprodukte gefunden haben [12]. Zudem fällt es möglicherweise vielen Anwendern schwer, lieb gewonnene Gewohnheiten über Bord zu werfen. Eine Umstellung auf ein neues Messverfahren bedeutet neben finanziellen Aufwendungen auch häufig ein flexibles Mitgestalten des Anwenders.

Steht eine Kontrolle der Hörgeräteanpassung an, so wird im Rahmen der Heil- und Hilfsmittelrichtlinien zur Hörgeräteversorgung auf sprachaudiometrische Untersuchung in Ruhe und im Störgeräusch verwiesen, insbesondere bei einer binauralen Hörgeräteversorgung. Mit dieser Untersuchung im Freifeld möchte der Fachmann herausfinden, in wie weit der Patient durch seine Hörstörung im alltäglichen Leben eingeschränkt ist und in wie weit diese Einschränkung durch eine Hörgeräteversorgung ausgeglichen werden kann. Eine Freifeldüberprüfung der Hörgeräteversorgung im Störgeräusch wird in der Hörgeräteanpassung beim Hörgeräteakustiker eingesetzt, aber auch bei der Kontrolluntersuchung des HNO-Arztes. Zurzeit sind dafür jedoch weder die verfügbaren Störgeräusche noch die Untersuchungsverfahren in einer DIN-Norm standardisiert. In der DIN-ISO 8253-3 wird empfohlen, bezüglich der apparativen und räumlichen Gegebenheiten folgendes zu berücksichtigen: Der Patient sollte mit einem Einfallswinkel von  $0^\circ$  zum Lautsprecher für die Sprachdarbietung positioniert werden, das Störgeräusch wird jeweils symmetrisch mit einem Einfallswinkel von  $45^\circ$  aus Zusatzlautsprechern dargeboten [12].

Die Untersuchung des Sprachverstehens im Störgeräusch wird in der Praxis meistens so umgesetzt, dass der Untersucher den Freiburger Einsilbertest unter Verwendung des sprachsimulierenden Rauschen nach CCITT Rec. G 227 durchführt. Doch eigentlich wurde der Freiburger Satztest gar nicht für Hörgeräteuntersuchungen im Störgeräusch konzipiert. Trotzdem wird er für diese eingesetzt und im Freifeld mit 65 dB (SPL) frontal dem Patienten präsentiert. Das Störgeräusch wird dabei fest auf 60 dB (SPL) eingestellt und entweder frontal aus einem Einfallswinkel von  $0^\circ$  oder von hinten mit  $180^\circ$  dem Patienten dargeboten [13].

Eine gebräuchliche Lautsprecheranordnung ist die Messanordnung  $S_0N_{180}$ . Diese Anordnung wird von HNO-Ärzten und Hörgeräteakustikern für die Überprüfung und Anpassung von Hörgeräten im Störgeräusch verwendet. Sie ist aber für eine realistische Beurteilung und Überprüfung von Hörgeräten mit Richtmikrofonen weniger

sinnvoll, da es in einer natürlichen Umgebung in der Regel mehrere Störgeräuschquellen aus unterschiedlichen Richtungen gibt. Lautsprecherkonfigurationen sollten deshalb so gewählt werden, dass sie eine natürliche Hörsituation nachbilden, beispielsweise indem Störgeräusch aus mehreren Lautsprechern unkorreliert dem Patienten dargeboten wird [14, 15].

Idealerweise sollten für eine zuverlässige Überprüfung der Hörgeräteeinstellung und deren Nutzen für den Patienten die Räumlichkeiten und Messverfahren beim Hörgeräteakustiker und HNO-Arzt übereinstimmen. Aus dem Anpassbericht des Hörgeräteakustikers sowie aus dem Untersuchungsprotokoll des HNO-Arztes geht die Art der eingesetzten Testeinrichtungen nicht immer hervor.

Die Qualitätssicherung in der Hörgeräteanpassung, aber auch die Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Institutionen verlangt nach einem Anpassmesssystem, das stabile und reproduzierbare Ergebnisse liefert und das sich ohne größeren Aufwand in die Hörgeräteanpassräume einbringen lässt.

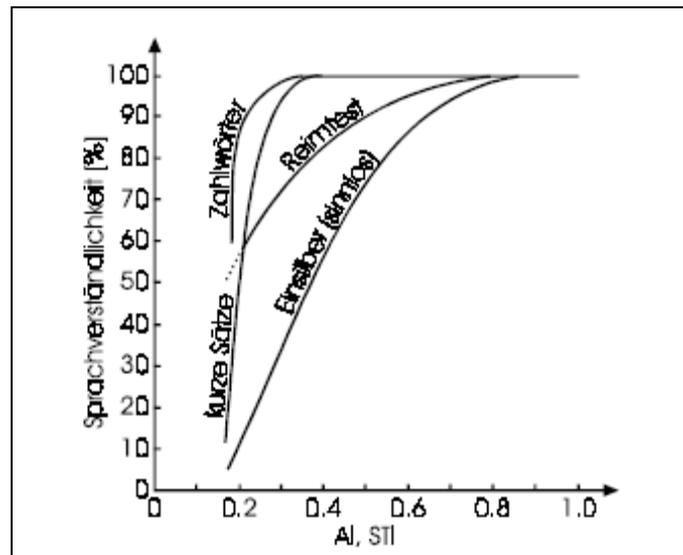
## 2.2 Satztests

Allein durch die Aufnahme der Hörschwelle kann keine Aussage über das Ausmass einer Hörstörung im Alltag getroffen werden. Damit ein Mensch Sprache wirklich verstehen kann bedarf es des komplexen Zusammenspiels verschiedener Verarbeitungsebenen des Gehörs [16]. Um die tatsächliche Einschränkung durch eine Hörstörung messtechnisch erfassen zu können, setzt der Hörgeräteakustiker in der Regel auf sprachaudiometrische Untersuchungen in Ruhe und im Störlärm. Aber auch in der Hörgeräteanpassung und der späteren vergleichenden Überprüfung beim HNO-Arzt werden Messungen der Sprachverständlichkeit durchgeführt. Dieses Kapitel gibt dem Leser einen kurzen Überblick über die verschiedenen Satztests. Eine ausführliche Begründung für die Wahl des in der Diplomarbeit verwendeten Sprachtests findet sich in **Kapitel 3.3**.

Um ein Hörgerät verordnet zu bekommen und dieses auch individuell auf den jeweiligen Hörverlust anzupassen, sind in der Praxis Sprachtests unerlässlich. Die gängigste Messmethode der Sprachaudiometrie im deutschsprachigen Raum ist immer noch der **Freiburger Sprachverständlichkeitstest** nach DIN 45621. Trotz der vielfachen Kritik und der Unausgeglichenheit der Testlisten ist dieser Test standardisiert und findet noch immer eine breite Anwendung vor allem in der Begutachtungspraxis [17].

Da die Kommunikation in geräuschvollen Situationen für Schwerhörige trotz Hörgeräteversorgung immer noch eine schwierige Hörsituation darstellt wurden Sprachtestverfahren entwickelt, die das Erkennen sprachlicher Mitteilungen im Störschall ermitteln.

In **Abb. 2-2** sind die verschiedenen Sprachtestmaterialien dargestellt. Die Sprachverständlichkeit wurde dabei als Funktion über den AI (Artikulations-Index) bzw. den STI (Speech Transmission Index) aufgetragen. Der AI bzw. STI stellt ein technisches Mass für die Sprachverständlichkeit dar und wird aus dem Verhältnis von Sprache und Störsignal in verschiedenen Frequenzbändern ermittelt [3].



**Abb. 2-2:** Diskriminationsfunktionen für verschiedene Sprachtestverfahren [3]

Aus der **Abb. 2-2** lässt sich erkennen, dass kurze Sätze und Zahlwörter im Gegensatz zu den Einsilbern bei einem geringeren Artikulations- bzw. Sprachtransmissionsindex verstanden werden. Bei einem vorgegebenen Signal-Rauschabstand sind demnach Zahlwörter und kurze Sätze einfacher zu verstehen als sinnlose Silben und einsilbige Wörter. In der Abbildung nicht berücksichtigt wurde die Art der dargebotenen Sätze, beispielsweise die Menge an Kontextinformation in einem Satz (also die Frage, ob aus den ersten paar Worten eines Satzes der Rest des Satzes vorhergesagt oder erraten werden kann oder ob jedes Wort innerhalb des Satzes unabhängig von allen anderen verstanden werden muss).

Bei Satztestverfahren im Störgeräusch werden die Sprachverständlichkeitsschwelle und der Diskriminationsverlust oft durch ein adaptives Messverfahren ermittelt, wobei der Sprachpegel je nach Antwort des Patienten variiert. Die Steigung der Diskriminationsfunktion ergibt sich aus der Abhängigkeit der Sprachverständlichkeit vom dargebotenen Signal-Rausch-Abstand (SNR). Häufig wird dabei die Störgeräuschintensität konstant gehalten und der Sprachpegel variiert. Die Sprachverständlichkeitsschwelle (SRT - Speech Reception Threshold) wird in Sprachmessungen im Störgeräusch ermittelt und ist der Signal-Rausch-Abstand, bei dem 50 % der getesteten Wörter richtig vom Patienten verstanden wurden. Beim Punkt der Sprachverständlichkeitsschwelle besitzt die Diskriminationsfunktion die größte Steigung. Um möglichst schnell diese Sprachverständlichkeitsschwelle zu messen, wird der Sprachpegel so lange gesenkt, bis weniger als die Hälfte der Wörter eines Satzes richtig erkannt wurden und danach angehoben, bis wiederum mehr als 50% der Worte verstanden wurden. Diese adaptive (selbstregulierende) Einpegelung wird so lange fortgeführt, bis die vorgewählte Messgenauigkeit erreicht ist [18].

Mit der Rahmenbedingung, dass die im Test vorkommenden Sätze der mittleren Phonemverteilung der deutschen Sprache entsprechen, wurde der **Marburger Sprachverständlichkeitstest** von Niemeyer entwickelt. Die Satzkonstruktionen sind allerdings teilweise unvollständig und die natürliche Kommunikationssituation wird verfälscht. Trotz vieler weiterer Nachteile ist dieser Satztest standardisiert nach DIN 45621, Teil 2. Er verliert jedoch in der Praxis immer mehr an Bedeutung [19]. Eine Weiterentwicklung des Marburger Satztests ist der **Göttinger Satztest**, bei dem auf syntaktisch sinnvolle Sätze mit mittlerer Phonemverteilung der deutschen Sprache geachtet wurde. Als Nachteil des Testes sei genannt, dass die Testsätze teilweise eine hohe Redundanz aufweisen, wie zum Beispiel: „Jetzt ist ein Fundament gelegt“, „Wir werden Euch nie vergessen“, „Morgen ist auch noch ein Tag“. Sie sind einprägsam und lassen sich nicht bei der gleichen Testperson wiederholen. Zudem stellt der Satztest nicht genügend Testlisten für vergleichende Messungen von Anpassungen der Hörgeräte oder Cochlea-Implantate zur Verfügung [19].

Um die Wiederholungsmessungen der Sprachverständlichkeit von CI-Trägern zu erhalten, wurde der **HSM-Test** (Hochmair-Desoyer, Schulz, Moser) entwickelt. Doch bei gleichem Messaufwand wie beim Göttinger Satztest erreicht man mit dem HSM-Test eine geringere Messgenauigkeit [19].

Ein weiteres, adaptives Messverfahren ist der **Basler Satztest**. Der Aufbau dieses Satztestes ist anders als bei den bisher vorgestellten Satztests. Die einzelnen kurzen Sätze bestehen aus 6-9 Silben und synchron zum dargebotenen Satz läuft ein Störgeräusch, das beim letzten Wort um 10 dB lauter wird. Bei diesem Messverfahren wird nicht der ganze Satz ausgewertet, sondern nur das letzte Wort [11].

Der **Oldenburger Satztest** (kurz OLSA) ist ein realitätsnahes und durch eine hohe Anzahl an Testlisten fast beliebig oft wiederholbares Sprachmaterial. Die Sätze weisen alle die gleiche Fünfwortstruktur auf. Ausserdem sind die Testlisten homogen, der Lerneffekt ist sehr gering und der Test gilt als gut evaluiert [19].

In **Tab. 2-1** ist eine Übersicht über die unterschiedlichen Satztestverfahren gegeben. Jeder Satztest wird in dieser Tabelle kurz vorgestellt, Vor- und Nachteile der einzelnen Messverfahren werden kurz angesprochen.

Satztestmaterial	Vorteil	Nachteil
<b>Freiburger Sprachverständlichkeitstest</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 Testlisten à 10 zweistellige Zahlwörter</li> <li>• 10 Testlisten à 20 Einsilber</li> <li>• Zur Anpassung und Überprüfung von Hörgeräten werden die Einsilber im Störgeräusch verwendet</li> <li>• Kein adaptives Messverfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Nach DIN 45621 standardisiert</li> <li>+ In der Praxis am meisten verbreitet</li> <li>+ Geringe Redundanz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unausgeglichenheit der Testlisten</li> <li>- Kein geeignetes Störgeräusch bzw. Testworte zu kurz für die Darbietung im Störlärm</li> <li>- Phonemübergänge nicht berücksichtigt</li> <li>- Streuung der Messergebnisse, zu kurze Testlisten</li> </ul>
<b>Marburger Satztest</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 Testlisten à 10 Sätze</li> <li>• Adaptives Messverfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Nach DIN 45621, Teil 2 standardisiert</li> <li>+ Phonemverteilung entspricht der deutschen Sprache</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Satzkonstruktionen teilweise unvollständig</li> <li>- Keine natürliche Kommunikationssituation</li> <li>- Kleine Anzahl an Testlisten</li> <li>- Überdeutlich, artikulierte Aussprache</li> <li>-</li> </ul>
<b>Göttinger Satztest</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterentwicklung des Marburger Satztest</li> <li>• Ähnlich strukturiert wie der Marburger Satztest</li> <li>• 20 Testlisten à 10 Sätze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Hohe Homogenität der Testlisten</li> <li>+ Nur syntaktisch vollständige Sätze</li> <li>+ Hohe perzeptive Äquivalenz der Testlisten</li> <li>+ Hohe Steigung der Diskriminationsfunktion</li> <li>+ Störgeräusch entspricht dem Langzeitspektrum des Testmaterials</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sehr hohe Redundanz der Testsätze</li> <li>- Nicht mit denselben Patienten wiederholbar</li> <li>- Für vergleichende Hörgerätemessungen stehen nicht genügend Testlisten zur Verfügung</li> <li>- Geringe Messgenauigkeit</li> <li>- Aussprache zu schnell für hochgradig Schwerhörige sowie Cochlea-Implantat-Träger</li> </ul>
<b>HSM-Test</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Speziell für Sprachverständlichkeitsmessungen von Cochlea-Implantat-Trägern entwickelt</li> <li>• 30 Testlisten à 20 Sätze</li> <li>• CCITT-Rauschen als Störgeräusch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Grosse Anzahl von Testlisten</li> <li>+ Langsame Aussprache</li> <li>+ Wortanzahl der Listen ist jeweils gleich gross</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teilweise uneinheitliche Zählung von zusammengesetzten Wörtern</li> <li>- Steigung der Diskriminationsfunktion ist gering</li> <li>- Geringere Messgenauigkeit als mit dem Göttinger Satztest bei gleichem Messaufwand</li> <li>- Testlisten nicht äquivalent</li> <li>- Keine Optimierung des Testmaterials bei Zusammenstellung</li> </ul>
<b>Basler Satztest</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptives Messverfahren</li> <li>• 10 Testlisten à 15 Sätze</li> <li>• Sprache und Störgeräusch synchron dargeboten</li> <li>• Störgeräusch ist 32-fache Überlagerung der Sprecherstimme</li> <li>• Vorgegebener Kontext muss mit einem Einsilber ergänzt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kurze Messzeit (ca. 10-15 Minuten)</li> <li>+ Vollständige Sätze</li> <li>+ Bekannt bei schweizerischen Hörgeräteakustikern/HNO-Ärzten und im praktischen Einsatz</li> <li>+ Hohe Akzeptanz bei den Patienten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geräusch wird beim letzten Wort um ca. 10 dB lauter</li> <li>- Ungeeignet für Hörverluste im Hauptsprachbereich von <math>\geq 80</math> dB (HL)</li> <li>- Eigentlich kein Satz- sondern eher ein Worttest</li> <li>- Zu geringe Zahl von Testlisten</li> </ul>
<b>Oldenburger Satztest</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptives Messverfahren</li> <li>• 40 Testlisten à 30 Sätze (CD-Version)</li> <li>• Störgeräusch ist 30-fache Überlagerung der Sprecherstimme</li> <li>• Jeder Satz besteht aus fünf Wörtern, die aus jeweils 10 Alternativwörtern zufällig zusammengestellt sind</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Hohe Äquivalenz der Testlisten</li> <li>+ Grosse Anzahl an Testlisten</li> <li>+ Aussprache in Umgangssprache, mittlere Sprechgeschwindigkeit</li> <li>+ Sätze besitzen geringe Redundanz, sind daher beliebig oft wiederholbar</li> <li>+ Gilt als gut evaluiert</li> <li>+ Steile Steigung der Diskriminationsfunktion, hohe Effizienz</li> <li>+ Für hochgradig Schwerhörige sowie Cochlea-Implantat-Träger geeignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Untersuchungszeit</li> <li>- Sinngehalt der Sätze ist niedrig</li> </ul>

Tab. 2-1: Übersicht der Sprachtestverfahren

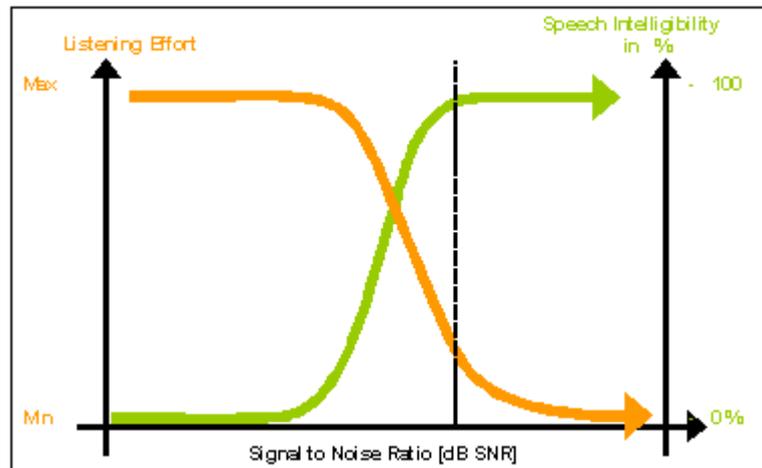
### 2.3 Höranstrengung (Listening Effort)

Menschen halten sich im Alltag in unterschiedlichsten Hörsituationen auf. Um diese realen Umgebungen in einer Messung simulieren zu können, werden Satztests mit unterschiedlichen Störgeräuscharten durchgeführt. Satztests haben viele Vorteile gegenüber Einsilbertests und Zahlenmaterial, da sie repräsentativer für die alltägliche Kommunikation sind. Sie geben dem schwerhörigen Patienten einen Kontext vor und verkörpern so unser Sprachsystem. Ein Nachteil der Satztests ist, dass das Sprachmaterial oft nur einmal für jeden Patienten benutzt werden kann und so die Satzlisten sich für die vergleichende Hörgeräteanpassung als ungeeignet erweisen [20]. Zudem kann der Untersucher mit den derzeitig erhältlichen Sprachtestmaterialien keine subjektiven Einflusskriterien ermitteln. Da manche Sprachsituationen für Schwerhörige sowie auch für Normalhörende anstrengender und schwieriger sind als andere und man diese Höranstrengung nicht mit einem Satztest bewerten kann, besteht der Bedarf nach einem Test, mit dem die subjektive Höranstrengung bewertet werden kann. So kann auch der Patient sich aktiv in den Prozess der Hörgeräteanpassung einbringen und allfällige Berührungspunkte abgebaut werden.

Von der Europäischen Union wird zur Zeit das HearCom-Projekt (Hearing in the Communication Society, <http://hearcom.eu>) gefördert, welches eine Vereinheitlichung der vorhandenen audiologischen Verfahren in Europa anstrebt und neue Messverfahren evaluiert. Ein Teilprojekt beschäftigt sich mit der Höranstrengung (Listening Effort) und ist im Sub-Project SP3 / Workpackage WP7 (standardisierte Evaluationsprozeduren) beschrieben.

Ein Gespräch zu führen, wenn gleichzeitig laute Nebengeräusche vorhanden sind, wird als anstrengend empfunden. Wird jedoch der Lautstärkepegel der Nebengeräusche mehr und mehr gesenkt, verringert sich die Höranstrengung und man ist wieder fähig, dem Gespräch mit voller Aufmerksamkeit zu folgen und alles richtig zu verstehen. Allein mit Sprachtests kann eine Bestimmung dieser Höranstrengung nicht zuverlässig durchgeführt werden. Es ist oft auch nicht möglich den für die Qualität des Höreindrucks positiven Effekt von gewissen Störgeräuschunterdrückungsalgorithmen und anderer Hörgerätetechniken nachzuweisen, während eine Bestimmung der Höranstrengung diesen Eigenschaftenaufzeigen könnte [21].

**Abb. 2-3** erläutert die Beziehung zwischen Höranstrengung und Sprachverständlichkeit schematisch. Die Höranstrengung sinkt bei einer SNR-Verbesserung, während die Sprachverständlichkeit ansteigt. Dabei ist es durchaus möglich, dass bei einer bestimmten Sprachverständlichkeit je nach Kommunikationssituation unterschiedliche Ausmasse von Höranstrengung vorliegen können.



**Abb. 2-3:** Zusammenhang und Abhängigkeit zwischen Höranstrengung und Sprachverständlichkeit [21]

In **Kapitel 3.4** wird auf die Höranstrengung nochmals eingegangen und beschrieben, wie die Messung der Höranstrengung bei den Probandenmessungen stattfand.

## 3 Vorgehensweise und Messaufbau

### 3.1 Planung der Probandenmessungen

Vor Beginn der Probandenmessungen mssten die Vorgehensweise und der Ablauf der Messungen sorgfältig geplant werden. Hierbei konnte auf publizierte Informationsmaterialien und auf früher durchgeführte Studien zurückgegriffen werden. Da aus dem Ergebnis dieser Arbeit eine Empfehlung für die schweizerischen Hörgeräteakustiker abgeleitet werden soll, musste eine Einarbeitung in die schweizerischen Anforderungen für Messungen mit Schwerhörigen und deren Anpassung mit Hörgeräten stattfinden.

Es stellte sich heraus, dass die Hörgeräteanpassung in der Schweiz mit den in Deutschland üblichen Verfahren in vielen Punkten übereinstimmt. Bezüglich der Sprachaudiometrie wird auf die gleiche Norm gesetzt, nämlich die DIN ISO 8253-3 (audiometrische Prüfverfahren Teil 3, Sprachaudiometrie).

Bei der Planung der Probandenmessungen musste darauf geachtet werden, dass der Messablauf bei jedem Probanden gleich abläuft und konstante Messbedingungen herrschen. Um einen flüssigen und fehlerfreien Durchlauf der Probandenmessungen zu gewährleisten und gleichzeitig eine Vergleichsgruppe zu erhalten, wurde ein Pilotdurchlauf mit 5 Normalhörenden durchgespielt. Dieser Vorgang diente auch zur Einarbeitung der Untersucherin und zur Bereinigung von technischen Problemen.

Die Räumlichkeiten sowie die benötigte technische Ausstattung für die Probandenmessungen stellte das Labor für Experimentelle Audiologie (LEA) der ORL-Klinik des Universitätsspitals Zürich (ORL-USZ) zur Verfügung. Um konstante Messbedingungen während der Messungen einzuhalten, fanden die Probandentests in einem geeigneten Messraum der ORL-Klinik mit entsprechenden Messapparaturen und Software statt.

Das Labor für Experimentelle Audiologie war auch massgeblich bei der Probandenrekrutierung behilflich und stellte gefilterte Listen aus der Patientendatenbank der ORL-Klinik bereit. Es wurden 20 Hörgeräteträger gefunden, die vor kurzer Zeit neu mit Hörgeräten versorgt wurden. Die Zusammensetzung der normalhörenden Gruppe umfasste Mitarbeiter des Universitätsspitals Zürich. Der Hörverlust dieser Probandengruppe liegt in keiner Frequenz zwischen 125 Hz bis 8 kHz über 20 dB (HL). In **Kapitel 5.1** und **5.2** wird noch genauer auf die Zusammensetzung und Details der beiden Probandengruppen eingegangen.

Damit waren die ersten Schritte zur Vorbereitung und Planung der Probandenmessung abgeschlossen. Als nächstes galt es, die Messumgebung zu konfigurieren, die Probanden zu rekrutieren und Vorversuchsmessungen mit der Normalhörendengruppe zu beginnen.

### 3.2 Ein- und Ausschlusskriterien der Probanden

Bei der Auswahl geeigneter Probanden müssen die vorher dargelegten Ein- und Ausschlusskriterien eingehalten werden. Folgende Einschlusskriterien wurden für die Versuchsgruppe der Hörgeräteträger formuliert:

- Jahrgang 1987-1927
- Deutschsprachig oder deutsch als Muttersprache
- Schlussexpertise der Hörgeräteversorgung muss in den letzten drei Jahren stattgefunden haben
- Beidseitig mit modernen Hörgeräten versorgt
- Symmetrischer Hörverlust

Zudem müssen folgende Ausschlusskriterien bei der Probandenauswahl eingehalten werden:

- Hochgradige Hörverluste
- Stark belastender Tinnitus
- Physische und psychische Belastungen, wie zum Beispiel lebensbedrohliche Erkrankungen und stark körperliche Einschränkungen
- Unzumutbar langer Anfahrtsweg vom Wohnort

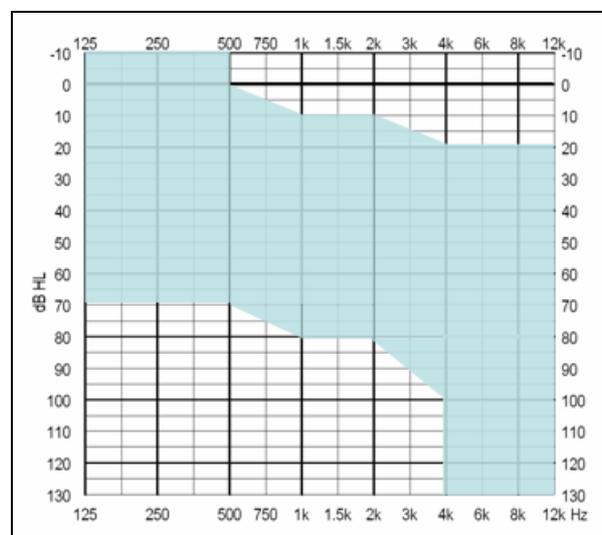
Da als Testmaterialien Satztests in deutscher Sprache vorgesehen waren, mussten die Versuchspersonen der deutschen Sprache mächtig sein oder besser noch deutsch als Muttersprache sprechen.. Die Messungen sollten Aufschluss über die durch einen Hörverlust bedingten Probleme bei der Spracherkennung geben und nicht über andere, zentralere Wahrnehmungs- oder Verarbeitungsprobleme. (Eine Person der normalhörenden Gruppe musste wegen ungenügender Beherrschung der deutschen Sprachenach Durchführung der Messung aus der Gesamtwertung herausgenommen werden).

Um zu gewährleisten, dass die Probanden mit den Hörgeräten hören, mussten die schwerhörigen Probanden beidseitig mit Hörgeräten versorgt sein. Dabei spielte es keine Rolle, ob die Bauform der Hörgeräte HdO (Hinter dem Ohr) oder IdO (In dem Ohr) war. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde das Hauptaugenmerk auf die Messumgebung gelegt und nicht auf das Hörgerät fokussiert. Die Zusatzbohrungen blieben geöffnet und offen angepasste Hörgeräte verblieben in ihrer gewohnten Tragesituation. So wurden alle Hörgerätearten über die Gesamtzahl der Hörgeräteträger gemittelt. In der Praxis der Hörgeräteakustiker sollte möglichst der Messaufbau für die Anpassung und Überprüfung der Hörgeräte nicht von der Bauform des Hörgerätes abhängig sein. Für alle Hörgerätesysteme, ob offen

angepasst oder mit verschlossener Zusatzbohrung sollten gleiche Messbedingungen herrschen.

Ein symmetrischer Hörverlust bei den schwerhörigen Probanden war Voraussetzung, um einer Überbewertung einer Messbedingung aufgrund eines besser hörenden Ohres entgegenzuwirken. Es wurden sowohl Schallempfindungs- wie auch Schalleitungsschwerhörigkeiten und kombinierte Schwerhörigkeiten untersucht. Ausserdem wurde bei der Probandenauswahl darauf geachtet, dass die Probanden ein minimales Sprachverständnis aufwiesen und das Sprachverstehen mit den Hörgeräten verbessert wurde. Der Hörverlust sollte nicht hochgradig sein, da sonst die Durchführung des Basler Satztests erschwert wird oder gar nicht messbar ist.

Der Bereich des Hörverlustes der ausgewählten Hörgeräteträger ist dem Tonaudiogramm in **Abb. 3-1** zu entnehmen.



**Abb. 3-1:** Hörverlustbereich

Es wurde davon ausgegangen, dass alle Probanden optimal durch ihren Hörgeräteakustiker beidseitig mit Hörgeräten angepasst wurden. Die Hörgeräte wurden in ihrer Trageeinstellung belassen. Es wurde keine messtechnische Kontrolle der Hörgeräteeinstellung durchgeführt. Um sicherzustellen, dass die Hörgeräte dem neusten Stand der Technik entsprachen und dem Hörverlust angepasst waren, sollte die Schlussexpertise nicht länger als drei Jahren zurückgelegen haben. Zusätzliche Ausschlusskriterien waren ein stark belastender Tinnitus sowie andere physische oder psychische Belastungen.

Aus der Schlussexpertise ging hervor, dass die Probanden mit ihrer Hörgeräteversorgung zufrieden bis sehr zufrieden waren. Für die Schlussexpertise wurde ein Formular zur Hörgeräteabschlussüberprüfung durch den HNO-Arzt verwendet, welches einheitlich in der deutschsprachigen Schweiz eingesetzt wird und Informationen beinhaltet über das Sprachaudiogramm, den subjektiven Gewinn,

technische Kriterien, Beurteilung der Dienstleistungen des Hörgeräteakustikers und die Empfehlung zur Leistungsübernahme gemäss der resultierenden Indikationsstufe.

Bei der Fragestellung dieser Diplomarbeit handelt es sich um die Gegenüberstellung verschiedener Messanordnungen bezüglich der Hörgeräteanpassung unter Störlärmbedingungen. Da die Ein- und Ausschlusskriterien einen relativen grossen Spielraum für die Auswahl von Versuchspersonen zulassen, wurde eine minimale Anzahl von 20 Probanden angestrebt, um trotzdem statistisch aussagekräftige Messergebnisse zu erhalten. Die Nachweisbarkeit der Wirkung der verschiedenen Lautsprecheranordnungen wurde also mit 20 Hörgeräteträgern sowie mit fünf Normalhörenden in einem Test und Retest überprüft.

### 3.3 Auswahl der Satztests

Ein Überblick über die verschiedenen Satztests wurde in **Kapitel 2.1.1** ausführlich beschrieben. Nun muss überlegt werden, welche Satztests sich für Probandenmessungen anbieten.

Um das tatsächliche Ausmass einer Sprachverständlichkeitsbehinderung messtechnisch bei einem Patienten erfassen zu können und um eine realitätsnahe Testumgebung in die Messkabine einzubringen, muss es sich bei dem in den Probandenmessungen benutzen Testmaterial um Satztests im Störgeräusch handeln. Gegenwärtig wird in der deutschsprachigen Schweiz der Basler Satztest zur „globalen Überprüfung der Hörgeräteanpassung“ eingesetzt.

Mit dem Basler Satztest stehen dem Untersucher 10 Testlisten mit jeweils 15 Sätzen zur Verfügung. Jeder Satz wird synchron mit einem Störgeräusch dargeboten, welches beim letzten Wort um 10 dB lauter wird. Das Störgeräusch ist eine 32-fache Überlagerung der Sprecherstimme und ist individuell an jeden Satz angepasst. Der Patient wiederholt nur das einsilbige Schlusswort. In Abhängigkeit der Antwort des Patienten wird der Sprachpegel der Testsätze in 2 dB Schritten variiert, das heißt wenn der Patient richtig antwortet wird der Sprachpegel erniedrigt und bei falscher Antwort wird er erhöht. Die ersten sechs Sätze dienen als Einhörsätze. Ausgewertet werden die Pegel der Sätze 7 bis 15. Bei der Durchführung des Basler Satztestes wird ein zweikanaliges Audiometer benötigt, damit eine unabhängige Pegeleinstellung von Sprache und Störgeräusch möglich wird. Mit einem Einfallswinkel von 0° wird ein Lautsprecher frontal vor dem Patienten in Kopfhöhe platziert. Für dieses Messverfahren wird nur ein Lautsprecher benötigt, da das Sprach- und Rauschsignal aus demselben Lautsprecher abgegeben werden [22, 23].

Die so beschriebene Messanordnung ist die Standardsituation, die technisch und räumlich am leichtesten umzusetzen ist. Grundsätzlich ist aber der Basler Satztest mit jeder anderen Lautsprecheranordnung durchführbar.

Dieser Test hat in der deutschsprachigen Schweiz eine große Verbreitung gefunden, sowohl bei den Hörgeräteakustikern als auch bei den HNO-Fachärzten, da er sich in einer großen Zahl von Hörgeräteanpassungen gut bewährt hat und als Satztest im Störschall ein realistisches Sprachmaterial darstellt [9]. Ein Ziel dieser Diplomarbeit ist es, zu überprüfen, ob sich der Basler Satztest für die Hörgeräteanpassung eignet und ob der Fachmann mit den Ergebnissen aus dieser Messung eine Aussage über die Qualität der Hörgeräteanpassung machen kann. Der Basler Satztest wurde schon in verschiedenen Studien evaluiert, jedoch immer in der Testanordnung  $S_0N_0$ . Daher ist eine Untersuchung mit anderen Testanordnungen für die Hörgeräteakustiker der deutschsprachigen Schweiz von praktischem Interesse.

Der adaptive OLSA besteht aus 40 Testlisten à 30 Sätzen (CD-Version). Er besitzt eine hohe perzeptive Äquivalenz der Testlisten. Jeder Satz besteht aus fünf Wörtern, die jeweils zufällig aus 10 Alternativen ausgewählt werden und immer in derselben Satzstruktur stehen (Name-Verb-Zahlwort-Adjektiv-Objekt). Es entstehen so Sätze, die

weitgehend aus sinnlos aneinander gereihten Wörtern bestehen und somit keinen Satzzusammenhang ergeben. Daher können Testlisten auch mehrmals bei derselben Testperson verwendet werden. Ziel ist es, durch eine adaptive Streuung des Signalpegels den SRT für 50% Worterkennung zu finden. Der OLSA verfügt über ein eigenes Störgeräusch, welches durch 30-fache Überlagerung des zeitlich zufällig verschobenen, gesamten Sprachmaterials erzeugt wurde und dessen Langzeitspektrum deshalb dem des Testmaterials (Sprache) entspricht. Durch das identische Langzeitspektrum von Testmaterial und Rauschen ergibt sich eine steilere Diskriminationsfunktion als bei der Verwendung anderer Geräuscharten. Das Rauschen besitzt nur geringfügige zeitliche Modulationen. Die verdeckende Wirkung des Rauschens ist deshalb optimal, da eine erhöhte Sprachverständlichkeit in den Minima der Einhüllenden („Lückenhören“) vermieden wird. Der Test ist auch für Messungen von stark schwerhörigen Patienten und von CI-Trägern geeignet [19]. Die Durchführung dieses Messverfahrens erfordert ein zweikanaliges Audiometer sowie einen CD-Player oder einen mit qualitativ hochwertigen Audioeinrichtungen konfigurierten PC. Wird der OLSA als Testmaterial für die Anpassung und Überprüfung von Hörgeräten gebraucht, wird ein schallisolierter Raum mit zwei Lautsprechern benötigt. Die Lautsprecher werden für binaurale Messungen jeweils in einem Einfallswinkel von 90° zum Probanden angeordnet. Möchte der Untersucher eine andere Lautsprecherkonfiguration als  $S_0N_0$  messen, so wird der Proband in die entsprechende Sitzposition gedreht [18].

Auch bei diesem Messverfahren sind verschiedene andere Lautsprecheranordnungen realisierbar.

Im Rahmen des HearCom-Projektes werden OLSA-ähnliche Tests in verschiedenen europäischen Sprachen entwickelt, was möglicherweise zu künftigen gesamteuropäischen Richtlinien für die Durchführung von Sprachtests führen wird.

Bei der Entwicklung des OLSAs wurden die Eigenschaften, die ein Satztest im Störgeräusch aufweisen sollte, berücksichtigt und die Vorteile anderer bestehender Messverfahren integriert. Der OLSA erfüllt durch seine Struktur und Aufbau die wesentlichen Anforderungen, die an einen modernen Satztest gestellt werden. Daher wurde auch dieser Satztest in der vorliegenden Arbeit untersucht und mit den Ergebnissen aus der Messung des Basler Satztests verglichen.

Der OLSA sowie der Basler Satztest wurden im Labor für Experimentelle Audiologie der ORL-Klinik des Universitätsspitals Zürich in einer Software namens Macarena implementiert. Dank dieser Software wurden Patientenantworten automatisch protokolliert und ausgewertet sowie als Text-Datei abgespeichert. Zudem stellte Macarena in reproduzierbarer, graphischer Form den Verlauf einer Probandensitzung dar. Das Testmaterial wurde für jeden Testdurchlauf automatisch neu randomisiert, um Lerneffekte zu minimieren und um die Testlisten wiederholbar zu machen. Das Störgeräusch für die unterschiedlichen Lautsprecherkonfigurationen wurde mit der Software Adobe Audition dargeboten.

Bei der OLSA-Messung wurde jedes vom Patienten richtig verstandene Wort gezählt und je nach Wortanzahl wurde der Pegel des nächsten Satzes adaptiv nach **Tabelle 3-1** angepasst. Das Störgeräusch verblieb dabei fest auf 65 dB(A). Durch diese Adaptation wurde die Sprachverständlichkeitsschwelle SRT im Störgeräusch ermittelt. Macarena wertete die letzten 20 Antworten für das Ergebnis aus.

Oldenburger Satztest			
Satz 2 bis 5		Satz 6 bis 31 (21)	
Anzahl richtiger Wörter des vorangehenden Satzes	Pegeländerungen in dB	Anzahl richtiger Wörter des vorangehenden Satzes	Pegeländerungen in dB
5	-3	5	-2
4	-2	4	-1
3	-1	3	0
2	+1	2	0
1	+2	1	+1
0	+3	0	+2

**Tab. 3-1:** Pegeladaption beim OLSA [18]

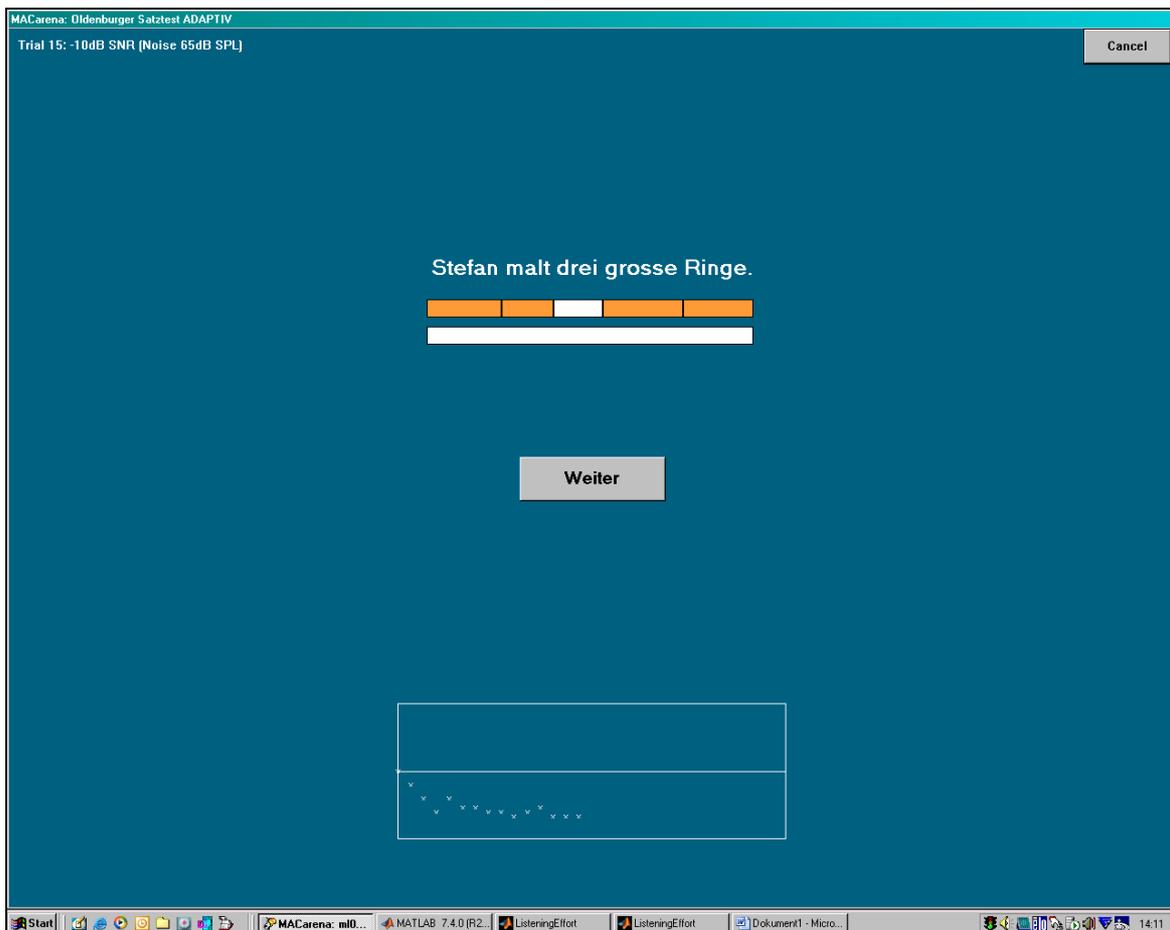
Für den Fall, dass der Proband schon vor Beendigung einer Satzliste den SRT erreichte, wurde in Macarena ein Konvergenzbereich festgelegt. Das heisst, wenn der Sprachpegel bei der siebten Satzdarbietung sich nicht änderte, wurde die Messung automatisch beendet und der SRT aus den letzten 6 SNR-Werten berechnet.

Die Pegeladaption des Basler Satztests ist in **Tabelle 3-2** dargestellt. Bei den Einhörsätzen (Satz 1-6) wurde der Sprachpegel um -3 dB bei richtiger Antwort erniedrigt und bei falscher Antwort um +3 dB erhöht. Das Störgeräusch verblieb auch hier fest auf 65 dB (A). Macarena wertete die letzten 10 Antworten als Ergebnis aus und berechnete so den SRT.

Basler Satztest			
Satz 2 bis 6		Satz 7 bis 16	
Anzahl richtiger Wörter des vorangehenden Satzes	Pegeländerungen in dB	Anzahl richtiger Wörter des vorangehenden Satzes	Pegeländerungen in dB
1	-3	1	-2
0	+3	0	+2

**Tab: 3-2.** Pegeladaption beim Basler Satztest [22]

In **Abb. 3.2** ist die graphische Benutzeroberfläche von Macarena bei einer OLSA-Messung zu sehen. In der oberen Bildecke sieht man, bei welchem Satz und SNR die Messung steht. In der Bildmitte steht der akustisch dargebotene Satz. Die Untersucherin markierte mit Hilfe der Balken die richtig verstandenen Wörter. Im unteren Bereich wird in einem Diagramm fortlaufend der Adaptionverlauf, dargestellt.



**Abb. 3-2:** *Benutzeroberfläche in Macarena bei der OLSA-Messung*

### 3.4 Messung der Höranstrengung (Listening Effort)

Das in **Kapitel 2.3** angesprochene HearCom-Projekt setzte sich bei der Untersuchung der Höranstrengung mit der Fragestellung auseinander, welchen Einfluss die Art des Störgeräusches auf das Ergebnis der Probanden hat. Interessant ist es nun, zu untersuchen, ob die Höranstrengung bei unterschiedlichen Messanordnungen der Lautsprecher unterschiedlich ausfällt und ob die Probanden dieses neue Messverfahren akzeptieren.

Um die Höranstrengung auch für die geplanten Probandenmessungen durchführen zu können, müssen noch einige Fragestellungen geklärt werden.

- Ist es sinnvoll, Material aus dem Basler und Oldenburger Satztest für die Messung der Höranstrengung einzusetzen?
- Bei welchem SNR-Startwert soll die Messung beginnen?
- Welche SNR-Schrittweite ist zweckmässig und wie oft werden die Werte nachgemessen?

Mit der Messung der Höranstrengung möchte man eine typische Kommunikationssituation unter erschwerten Bedingungen testen. Der Basler Satztest erfüllt diese Anforderung nicht wirklich, da bei der Satzdarbietung der Pegel des synchron mitlaufenden Störgeräusches beim letzten Wort jeweils um 10 dB ansteigt, was keine realitätsnahe Hörsituation darstellt. Im Gegensatz dazu erfüllt der OLSA dieses Kriterium und findet so Verwendung bei diesem Messverfahren.

Für die Messung der Höranstrengung wurden einzelne Sätze des OLSAs zufällig ausgewählt und mithilfe von Adobe Audition hintereinander in einem Wave-File gespeichert. Adobe Audition ist eine Software zur Analyse und Bearbeitung von Klangdateien.

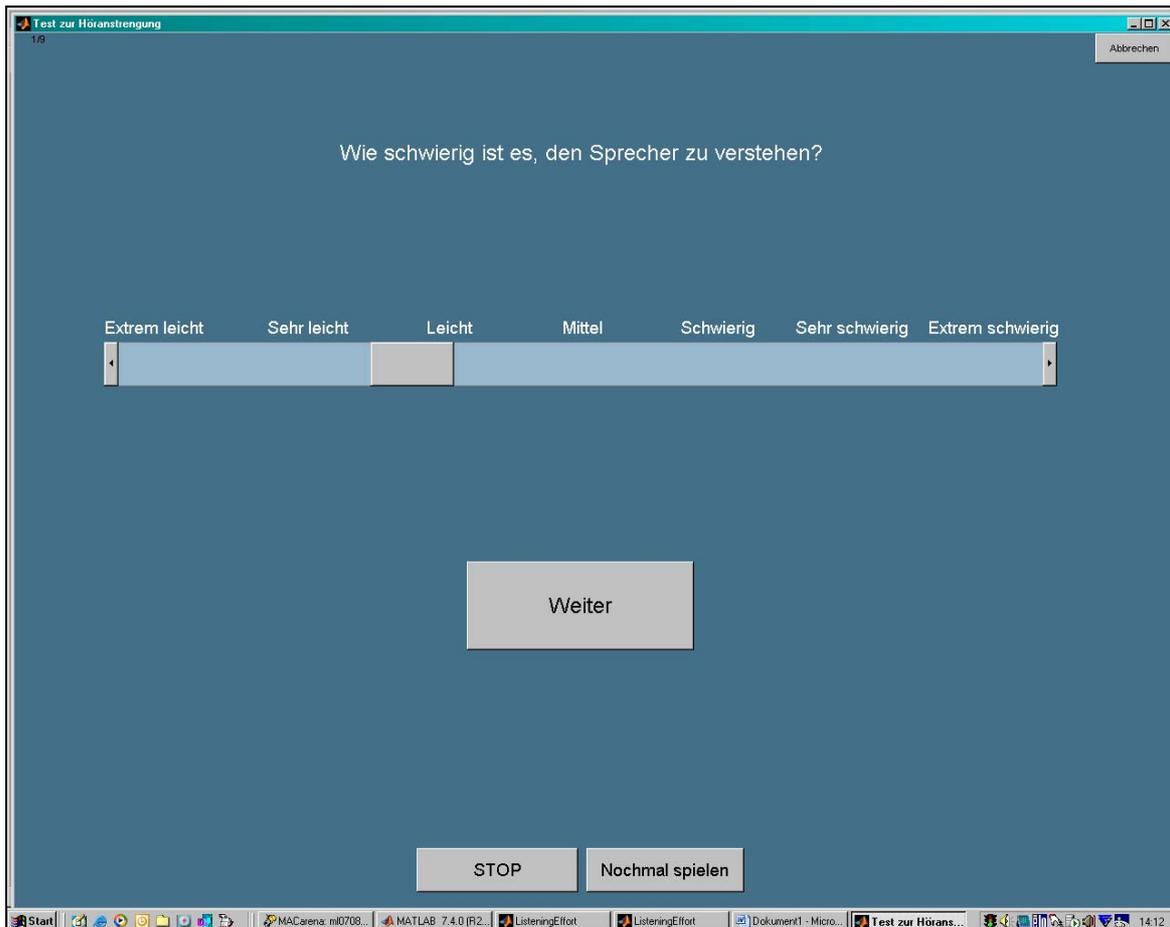
In **Tab. 3-3** sind die einzelnen Sätze des OLSAs aufgelistet. Die Sätze wurden aus den Testlisten 1 bis 4 und den zwei Übungslisten 1 und 2 zusammengestellt. Die einzelnen Sätze lagen als Wave-Files vor und wurden zusammen geschnitten. So entstand ein Wave-File aus insgesamt 25 Sätzen und einer Gesamtlänge von 1,08 min. Zwischen den Sätzen wurde jeweils eine Pause von 500 ms eingebaut. Das so entstandene Wave-File wurde als mono-File mit einer Abtastrate von 22050 Hz und einer Auflösung von 16 Bit abgespeichert. Auch bei diesem Messverfahren wurde wieder auf das OLSA-Rauschen zurückgegriffen, welcheswie in **Kapitel 3.3** beschrieben fest bei 65 dB (A) verwendet wurde.

<b>Oldenburger Satztest</b>	
Liste 01	00456
Übungsliste 02	22159
Übungsliste 01	33287
Liste 01	44529
Liste 03	55025
Liste 02	10681
Liste 01	61793
Liste 03	77705
Liste 04	86800
Liste 03	99308
Liste 02	05413
Liste 01	11755
Liste 03	24318
Liste 03	30757
Liste 02	43285
Liste 02	52988
Liste 02	66127
Übungsliste 01	75151
Liste 03	87263
Liste 03	98162
Liste 03	03262
Liste 03	12339
Liste 02	29744
Liste 02	35209
Liste 04	47173

**Tab. 3-3:** *Reihenfolge der OLSA-Sätze*

Als Ergebnis der OLSA-Messung erhielt die Untersucherin einen individuellen SNR-Startwert für jeden Probanden und konnte damit die Messung der Höranstrengung beginnen. Bei diesem Startwert wurde davon ausgegangen, dass dieser Wert ungefähr zu einer mittelgradigen Höranstrengung beim Probanden führte. Um in der praktische Anwendung Zeit zu sparen, sollte die SNR-Auflösung nicht allzu fein sein. Für die Diplomarbeit wurden 6 dB-Schritte gewählt, sodass damit ungefähr die Bereiche „extrem leicht“ und „extrem schwierig“ erfasst wurden. Um einen angenäherten Kurvenverlauf der Höranstrengung in Abhängigkeit des SNRs zu erhalten, wurde der SRT-Wert aus der OLSA-Messung als Anfangswert und um diesen Anfangswert herum die Werte  $SRT \pm 6$  dB gewählt. Mit der Software Matlab wurde über einen Touchscreen eine Eingabeskala angeboten. Diese Darstellung hatte die Form einer analogen, 7-stufigen Skala und liess eine Auflösung von 100 Punkten zu. Um eine minimal ausreichende Zuverlässigkeit der Probandenantworten zu erhalten, wurde jeder der drei SNR-Werte dreimal angeboten.

In **Abb. 3-3** ist die Benutzeroberfläche zu sehen, die Matlab dem Probanden während einer Testsitzung darstellte. Der Proband hatte die Aufgabe, auf der in der Bildmitte dargestellten Skala die Höranstrengung zu bewerten. Ein berührungsempfindlicher Bildschirm (Touchscreen) diente als Eingabehilfe. Eine ausführliche Beschreibung zum Versuchablauf der Höranstrengung findet sich im **Kapitel 4.3** wieder.

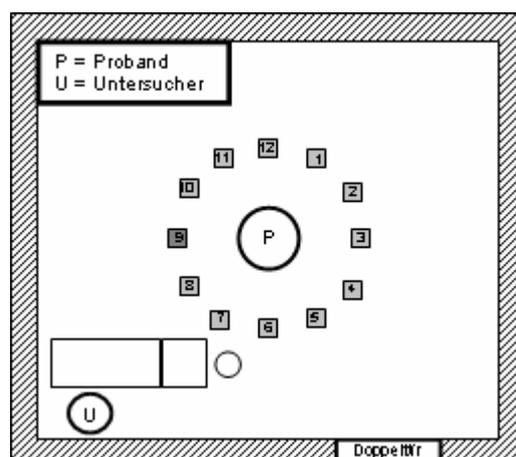


**Abb. 3-3:** Benutzeroberfläche in Matlab bei Messung der Höranstrengung

### 3.5 Messraum und verwendete Hardware und Software

Bei dem ausgewählten Messraum handelte es sich um einen Untersuchungsraum des Labors für Experimentelle Audiologie der ORL-Klinik des Universitätsspitals Zürich, der für Untersuchungen des Richtungshörens gebraucht wird. Der schallisolierte Messraum besitzt eine Grundfläche von 5,70 m mal 6,50 m bei einer Höhe von 2,30 m. Das Gesamtvolumen dieses Messraumes beträgt somit 85,215 m<sup>3</sup>. Ausgekleidet ist dieser Messraum mit teilweise schallabsorbierenden und teilweise schallreflektierenden Platten, die abwechselnd an die Wände montiert sind. Die Raumdecke besteht aus Absorberplatten, unter denen ein Belüftungssystem untergebracht ist. Auf dem Messraumfussboden ist ein Teppich ausgelegt. Dieser fensterlose Messraum besitzt eine schalldämmende Doppeltür, die während einer Messung verschlossen wurde.

Im Messraum befanden sich zwölf Lautsprecher, die in einem Kreis angeordnet und im gleichen Abstand zu einander und zu den Wänden angeordnet waren. Die Lautsprecheranordnung ist der **Abb. 3-4** zu entnehmen.

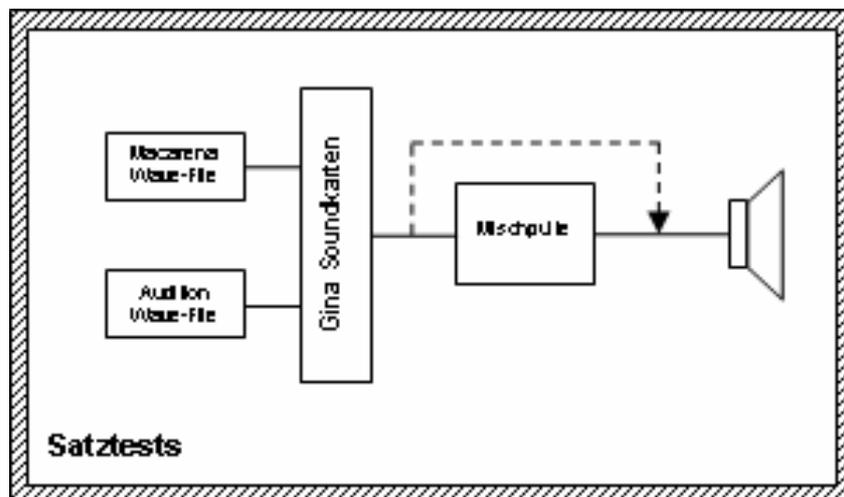


**Abb. 3-4:** Messanordnung im Audiometrierraum

Die Untersucherin und ihr Arbeitsplatz befanden sich links neben der schalldämmenden Doppeltür. Der Arbeitsplatz war mit einem PC (HP Compaq dc 7700 CMT), Monitor (miro C2193) und Mischpulten (LTO S-8) ausgestattet. Der PC stand unter dem Tisch der Untersucherin. Das Störgeräusch im Messraum betrug bei in Betrieb genommenem PC 27,2 dB(A) (beim Stuhl des Probanden), was unterhalb der vorgeschriebenen 40 dB(A) lag [24]. Die zwölf Lautsprecher (Genelec 1029A) waren symmetrisch in einem Winkel von 30° zueinander und einem Abstand von 1,70 m zum Mittelpunkt kreisförmig angeordnet. Die Lautsprecher waren jeweils auf einem Stativ befestigt und auf eine Höhe von 1,15 m (gemessen vom Boden bis zur Lautsprechermitte) eingestellt. Die Anordnung der Lautsprecher sowie die Einstellhöhe wurden während der Probandenmessungen nicht verändert. Vor einer Messung wurde

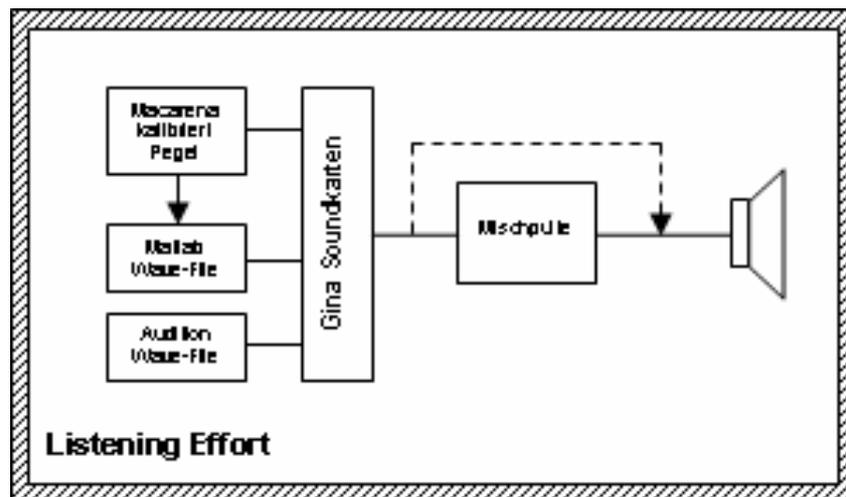
der Proband im Zentrum dieser kreisförmigen Lautsprecheranordnung auf einem drehbaren Stuhl platziert und blickte in Richtung des dunkelgrau unterlegten Lautsprechers Nummer 9. Die Ansteuerung der Lautsprecher erfolgte über zwei Mischpulte, bei denen je nach gewünschter Lautsprecheransteuerung die Lautsprecherstecker umgesteckt wurden.

In **Abb. 3-5** ist die Ansteuerung der Lautsprecher bei Durchführung der Satztests schematisch aufgezeigt. Verbunden wurden die beiden Mischpulte mit zwei Gina 24 Soundkarten, dabei war Gina A für die Lautsprecher 1-8 und Gina B für 9-12 verantwortlich. Die Sprachdarbietung erfolgte über die Software Macarena (LEA ORL-USZ) und die Störgeräuscharbietung wurde für den OLSA über die Software Adobe Audition 1.5 realisiert. Die Sprach- und Störgeräuscharbietung beim Basler Satztest wurden über Macarena abgespielt. Dabei wurde das Störgeräusch über einen zusätzlichen Kanal ausgegeben.



**Abb. 3-5:** *Ansteuerung der Lautsprecher bei Satztestmessungen*

In **Abb. 3-6** ist die Ansteuerung der Lautsprecher bei Durchführung der Höranstrengung schematisch dargestellt. Bei diesem Teil der Messung wurde vor dem Probanden ein Touchscreen (ELO Touchsystems) platziert. Die graphische Darstellung der Bedienoberfläche erfolgte durch die Software Matlab. Die Darbietung des Sprachsignals wurde auch von Matlab gesteuert, wobei Macarena für die Lautstärkewahl zuständig war. Das Störgeräusch wurde auch bei dieser Messung über Adobe Audition dargeboten.



**Abb. 3-6:** Ansteuerung der Lautsprecher bei der Höranstrengung

In **Abb. 3-7** bis **Abb. 3-10** sind alle vier Messanordnungen abgebildet, die für die Probandenmessungen vorgesehen waren. Bei allen drei Messverfahren wurden alle vier Messanordnungen durchgeführt.

In der Messanordnung 1 ( $S_0N_0$ ) wurden das Sprachsignal sowie das Störgeräusch aus der gleichen Richtung dargeboten, nämlich von vorne aus Lautsprecher Nummer 9.

In **Abb. 3-7** ist der Messaufbau für die Messanordnung  $S_0N_0$  graphisch dargestellt. Diese bot sich als Referenzbedingung in der Diplomarbeit an, da diese Messanordnung in der Praxis üblich ist und so bei Messungen des Basler Satztests und des OLSAs praktiziert wird.

Die Sprachdarbietung in Messanordnung 2 ( $S_{45}N_{45}$ ) erfolgte wieder über Lautsprecher Nummer 9, während das Störgeräusch aus Lautsprecher Nummer 6 dargeboten wurde. In dieser Messanordnung wurde die Sitzposition des Probandens geändert, so dass er genau in die Mitte der beiden Lautsprecher blickte. Dieser Mittelpunkt wurde mit einem Bildmotiv gekennzeichnet, damit der Proband seine Blickrichtung während der Messung auf eine Stelle fixiert. Die graphische Darstellung der Messanordnung 2 ist in **Abb. 3-8** ersichtlich.

Die Messanordnung 3 ( $S_{-45}N_{45}$ ) ist die gleiche Messsituation wie in Messanordnung 2, sie wurde nur spiegelverkehrt dargeboten und ist in **Abb. 3-9** abgebildet.

In der Messanordnung 4 ( $S_0N_{90, 180, 270}$ ) wurde die Probandensitzposition wieder dahingehend geändert, dass der Proband in Richtung Lautsprecher Nummer 9 blickte. Das Störgeräusch wurde in diesem Messaufbau aus den Lautsprechern 6, 3 und 12 dargeboten. In **Abb. 3-10** ist dieser Messaufbau graphisch aufgezeigt.

In **Anhang 7.4** ist eine detaillierte Auflistung aller in der vorliegenden Arbeit verwendeten Geräte und der benötigten Software zu finden.

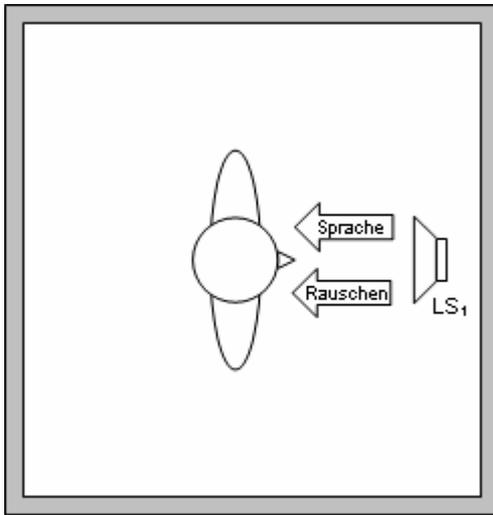


Abb. 3-7: Messanordnung 1

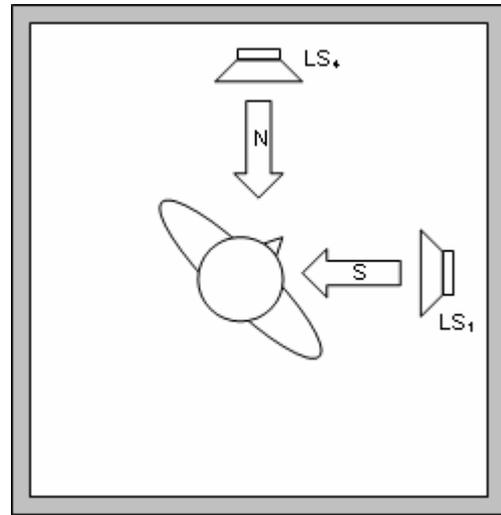


Abb. 3-8: Messanordnung 2

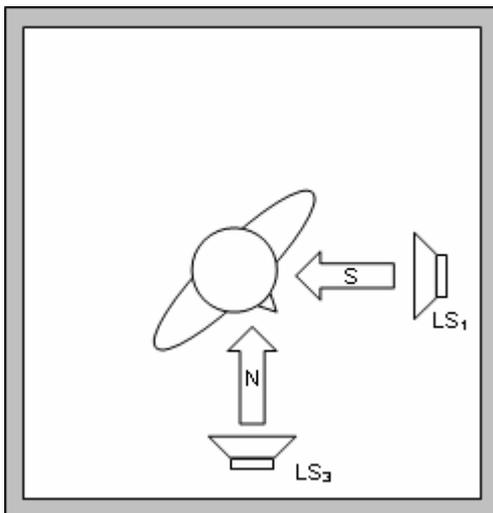


Abb. 3-9: Messanordnung 3

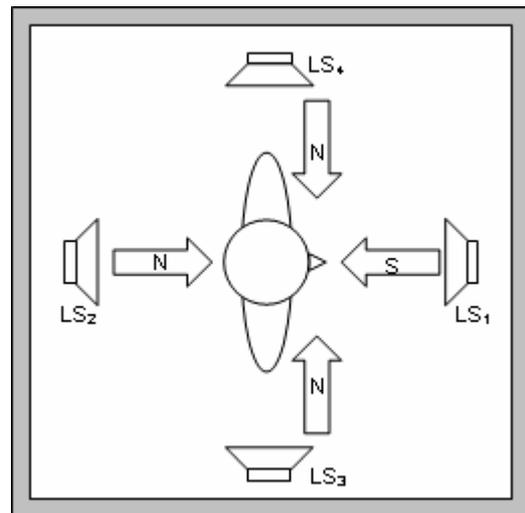


Abb. 3-10: Messanordnung 4

### 3.6 Lautsprecheranordnung und Störgeräuschmaterial

Heutzutage finden sich immer noch Lautsprecheranordnungen in den Anpasskabinen vor, die natürliche Hörsituationen nur unzutreffend widerspiegeln. Gerade weil viele Anpasskabinen einen künstlichen und trockenen Klangeindruck erzeugen, haben viele Schwerhörige Probleme im Alltag. Mit dem neu angepassten Hörgerät fallen oft leider nur die Messergebnisse gut aus, während im Alltag viele Hörgeräteanpassungen oft nicht befriedigen können.

Die Messanordnung  $S_0N_{180}$ , bei der die Sprache aus einem Einfallswinkel von  $0^\circ$  und das Störgeräusch aus einem Einfallswinkel von  $180^\circ$  präsentiert werden, findet in der Praxis bei der Anpassung und Überprüfung von Hörgeräten im Störgeräusch eine relativ grosse Verbreitung. Für eine Nutzenbeurteilung beispielsweise von Richtmikrofonen macht die Anordnung einer Störquelle von hinten aber weniger Sinn, da sie zu einer Überbewertung der Messergebnisse führt. In einer natürlichen Umgebung sind meistens mehrere Störquellen aus verschiedenen Richtungen vorhanden. Daher sollte bei einer Untersuchung der Kommunikationsfähigkeit mit Hörgeräten eine Situation nachgebildet werden, die einer natürlichen Umgebung nahe kommt.

Die technisch und räumlich am einfachsten umsetzbare Messanordnung ist die, in der Sprache und Störgeräusch aus einem Einfallswinkel von  $0^\circ$  dem Patienten dargeboten werden. Da diese Messanordnung in der Praxis auch üblich ist, wurde sie in dieser Diplomarbeit untersucht (Messanordnung 1).

Eine weitere Messanordnung, die es zu untersuchen galt, ist die Messanordnung  $S_{45}N_{45}$  ( $S_{-45}N_{45}$ ). Diese Messanordnung wurde gewählt, da sie eine Abänderung der Messung nach DIN ISO 8352-3 darstellt. Die DIN-Norm sieht vor, dass der Patient mit einem Einfallswinkel von  $0^\circ$  zur Sprache positioniert wird und zusätzlich das Rauschen aus einem Einfallswinkel von jeweils  $45^\circ$  kommt. Diese Messanordnung findet jedoch kaum Anwendung in der Praxis. Häufig wird die Messanordnung  $S_0N_{90/(270)}$  angetroffen, da dieser Aufbau für verschiedene Sprachmessungen im Störgeräusch zur binauralen räumlichen Differenzierung bei räumlicher Trennung von Nutz- und Störgeräusch gebraucht wird. Die in der vorliegenden Arbeit benutzte Messanordnung (Messanordnung 2 und 3) entstand deshalb als ein Kompromiss aus den beiden erwähnten Messanordnungen.

Die unnatürliche Messanordnung  $S_0N_{180}$  wurde um zwei Lautsprecher mit jeweils einem Einfallswinkel von  $90^\circ$  ergänzt (Messanordnung 4). Wenn das Störgeräusch unkorreliert aus mehreren Lautsprechern ausgegeben wird, erhält man eine Klangsituation, die eine natürliche Umgebung simuliert.

Das OLSA-Rauschen wurde zu diesem Zweck auf drei Kanalspuren in Adobe Audition gelegt und jeweils um eine Sekunde zeitversetzt als eine neue Geräuschdatei gespeichert. So entstand eine unkorrelierte 3kanalige Rauschklangdatei, die dem Probanden einen Höreindruck vermittelt, der einer natürlichen Kommunikationssituation ähnelt. Die gleiche Methode zur Annäherung an die reale

Klangwelt konnte beim Basler Satztest nicht umgesetzt werden, da Sprach- und Rauschsignal synchron abgespielt werden mit dem erwähnten Pegelsprung beim letzten Wort jedes Satzes. Daher wurde für die Messung des Basler Satztests auf ein unkorreliertes Störgeräusch verzichtet und stattdessen das Störgeräusch korreliert aus den drei Lautsprechern dargeboten.

### 3.7 Kalibrierung und Überprüfung des Messaufbaus

Nachdem die Vorüberlegungen für den Messaufbau abgeschlossen waren, wurde die Kalibrierung des Messaufbaus eingeleitet. Auf einem Stativ wurde ein Pegelmesser der Firma Norsonic des Typs 118 auf eine Höhe von 1,20 m gebracht. Der Pegelmesser wurde an der Stelle aufgestellt, wo später der Proband Platz nahm. Für jede der vier verschiedenen Messanordnungen wurde eine separate Kalibrierungsmessung durchgeführt.

Die originalen Wave-Files des OLSAs bedurften keiner erneuten Kalibrierung. Bei der Durchführung der OLSA-Messung wurde das Sprachsignal über Macarena dargeboten. Das Störgeräusch wurde separat über Adobe Audition abgespielt. Für die vier Lautsprecherkonfigurationen wurde das OLSA-Rauschen den entsprechenden Lautsprechern in Adobe Audition zugeordnet und das Rauschen wurde auf eine Pegelintensität von 65 dB(A) festgelegt. Für die Lautsprecherkonfiguration 4 wurde das OLSA-Rauschen auf 3 Kanalspuren gelegt und die zweite und dritte Spur um eine Sekunde zeitversetzt in Adobe Audition gespeichert, um die unkorrelierte Rauschdarbietung zu gewährleisten. Um der Pegeladdition der drei Lautsprecher entgegen zuwirken, wurde der Gesamtpegel des Wave-Files reduziert. Alle neu entstandenen Rauschdateien wurden als Session-Files gespeichert. Es wurde in zeitlich versetzten Messungen überprüft, ob die Pegelintensität bei 65 dB(A) eingehalten wurde.

Der Basler Satztest lag als originales, digitales Wave-Format vor und wurde vor Beginn der Probandenmessung in Macarena implementiert. Der Basler Satztest lag als Stereo-File vor, da Satz und Geräusch synchron über Macarena dargeboten werden mussten. Für jede Lautsprecherkonfiguration mussten die Inputs der Lautsprecher in das Mischpult umgesteckt werden. Mit dem OLSA-Rauschen wurde jede Lautsprechersituation überprüft, am Mischpult wurde dann die Pegelinstellungen vorgenommen. Auch hierfür wurden die Pegelmessungen mit dem Pegelmesser Norsonic Typ 118 genommen. Für die Lautsprecherkonfigurierung 4 wurde der Ausgang des Rauschkanals an einen separat eingestellten Input gelegt, um Pegeladditionen durch die 3 Lautsprecher zu kompensieren.

Nun wurde eine Rauschdatei von dem vorher vorbereiteten OLSA-Rauschen genommen und über den zweiten Kanal von Macarena mithilfe von Adobe Audition gelegt. Da der Messdurchlauf des Basler Satztests ein manuelles Umstecken der Lautsprecherinputs vorsah, wurde per Hand jede Lautsprecherkonfiguration am Mischpult überprüft. Diese Überprüfung ergab für jede Messanordnung eine Pegelintensität von 65 dB(A). Um die originalen Basler Sätze auf das OLSA-Rauschen anzupassen, wurde das gesamte Basler Satztestmaterial um 6 dB mit Adobe Audition reduziert. Für den Probanden herrschte nun während der Messung eine angenehme Lautstärke von Sprach und Rauschsignal.

Bei der Messung der Höranstrengung werden die originalen Sätze des OLSAs verwendet. 25 Sätze wurden vorher mit Adobe Audition als ein Wave-File zusammen geschnitten und so als Testmaterial benutzt. Die Lautstärkekontrolle über dieses Wave-File übernahm während einer Messung Macarena. Die Steuerung der Testmaterialdarbietung wurde von Matlab übernommen. Adobe Audition war für die Darbietung des Störgeräusches verantwortlich. Dabei wurden wieder die Störgeräuschdateien aus der OLSA-Messung genommen, welche keine erneute Kalibrierung benötigten.

## 4 Durchführung der Messung

### 4.1 Randomisierung

Bevor die Probandenmessungen beginnen konnten, wurden Verwürflungslisten für jeden Probanden erstellt. Um Lerneffekte zufällig über alle Probanden zu verteilen, wurden die Lautsprecheranordnungen sowie die Testlisten pseudozufällig verwürfelt. Es wurde vor allem bei der normalhörenden Gruppe, bei der eine Wiederholung der Messung durchgeführt wurde, darauf geachtet, dass die Reihenfolge der Lautsprecherkonfigurationen und Testlisten bei der Wiederholung anders strukturiert war.

Obwohl die OLSA-Sätze durch den niedrigen Sinngehalt eine geringe Redundanz aufweisen und daher die Wiedererkennung beim Probanden erschwert wird, erfolgte die Präsentation jeder Testlisten bei jedem Probanden nur einmal. Zusätzlich bietet die Software Macarena eine automatische Randomisierung, die es gestattete, dass innerhalb jeder Testliste die Sätze durchmischt wurden. Der Einfluss der Lerneffekte durch Wiederholung einzelner Sätze wurde so auf ein Minimum reduziert.

Die an den Probanden gestellte Aufgabe beim Basler Satztest war es, das letzte Wort aus einem Sprach-Geräuschgemisch herauszuhören und nachzusprechen. Dieses letzte Wort ist aus dem vorangehenden Kontext wenig voraussagbar [22]. Trotzdem können sich Lerneffekte bei Wiederholung einer Satzliste einschleichen, da beim Basler Satztest dem Probanden vollständige und sinnvollere Sätze dargeboten wurden. Daher wurde auch hier vor Messbeginn eine Verwürflungsliste für die Lautsprecherkonfigurationen und Testlisten für jeden Probanden erstellt. Und auch beim Basler Satztest durchmischte Macarena innerhalb einer Testliste die Sätze.

Anstelle der originalen OLSA Wave-Files wurde bei der Messung der Höranstrengung ein vorbereitetes Wave-File benutzt. Dieses Wave-File wurde aus 25 Einzelsätzen des OLSAs zusammen geschnitten und durchgehend in der gleichen Reihenfolge in der Probandenmessung abgespielt. Jedem Probanden wurde in dieser Messung lediglich eine andere Reihenfolge der Lautsprecheranordnungen dargeboten.

## 4.2 Probandeninstruktion

Die Instruktion der Probanden wurde so vorgenommen, wie es im Handbuch OLSA und in der Testanleitung Basler Satztest beschrieben wird. Aus dem Handbuch OLSA wurden die Standardeinweisungssätze ohne weitere Veränderungen übernommen und schriftlich in einem Einweisungsformular festgehalten. Aus der Testanleitung Basler Satztest entwickelte die Untersucherin ein Einweisungsformular. Die Messung der Höranstrengung ist aufgrund ihrer Aktualität weder standardisiert noch schriftlich als Testanleitung niedergeschrieben. Zudem nahm die Untersucherin selbst entwickelte Abänderungen am Messverfahren der Höranstrengung vor. Auch für dieses Testverfahren entwarf die Untersucherin das Einweisungsformular selbst. Alle drei Probandeninstruktionen befinden sich im **Anhang 7.5**.

Um eine Beeinflussung der Probanden auszuschliessen, wurden sie kurz über die Hörgeräteanpassproblematik, Verstehen im Störgeräusch und den Messablauf aufgeklärt, wobei auf eine genauere Erläuterung zum Messaufbau und den Satztest verzichtet wurde. Damit wurde erreicht, dass die Probanden sich als einen wichtigen Teil der Untersuchung fühlten und zur Mitarbeit maximal motiviert waren. Die Probanden wurden zur konzentrierten Mitarbeit aufgefordert und angewiesen, die Hörgeräteeinstellung während der Messung nicht zu verändern. Die Untersucherin gab jedem Probanden eine mündliche sowie schriftliche Testeinweisung. Die mündliche Testeinweisung fand statt, da sich die Untersucherin vor Messbeginn versichern wollte, ob die Probanden die ihnen gestellte Aufgabe auch verstanden hatten.

Den Hörgeräteträgern war das Messverfahren des Basler Satztests bekannt, da dieser Test ein wichtiger Teil des Überprüfungs- und Kontrollprozederes einer Hörgeräteanpassung ist und bei den Hörgeräteakustikern und HNO-Ärzten in der Schweiz eingesetzt wird. Die Probanden wurden darauf aufmerksam gemacht, dass es sich bei der Messung des Basler Satztests um den gleichen Test handelt, wie er schon aus der Hörgeräteanpassung bekannt ist. Es wurde hervorgehoben, dass die Satzgruppen sowie die Sätze in ihrer Reihenfolge verändert waren, um Lerneffekte auszuschliessen. Das Messverfahren des OLSAs war den Probanden weitestgehend unbekannt, wie auch die Messung der Höranstrengung.

Sowohl bei der OLSA-, wie auch bei der Basler Satztest-Messung wurden die Probanden davon in Kenntnis gesetzt, dass während einer Messung die Sätze in ihrer Lautstärke variieren, sie sich davon nicht irritieren oder entmutigen lassen sollten und sie durch die Lautstärkevariation nicht immer den kompletten Satz verstehen konnten.

### 4.3 Versuchsablauf

Jeder Proband wurde an vereinbarter Stelle begrüsst und abgeholt. Nachdem er eine kurze Erläuterung zur Thematik und zum Messablauf erhalten hatte, fand ein kurzes audiologisches Vorgespräch statt und die Ohren wurden otoskopiert (Heine mini 3000 FO).

Die Gruppe der Normalhörenden wurde in diesem Gespräch über Personalien, Erkrankungen am Ohr und Probleme mit dem Hören befragt. Anschliessend wurde bei jedem der fünf normalhörenden Probanden die Hörschwelle für Töne über Luftleitung mit einem Kopfhörer ermittelt. Die Ermittlung der Hörschwelle fand in einer gesonderten Audiometrikabine des ORL-Klinik des Universitätsspitals Zürich statt und wurde von der Untersucherin am Audiometer Obiter 822 durchgeführt. Die Hörschwelle der normalhörenden Gruppe lag im Frequenzbereich von 125 Hz bis 8 kHz bei keiner dieser Frequenzen über 20 dB (HL).

In einem audiologischen Vorgespräch (siehe **Anhang 7.6**) wurden die 20 Hörgeräteträger über die derzeitige beidseitige Hörgeräteversorgung und zur Zufriedenheit beim Umgang mit ihren Hörgeräten befragt. Die Hörgeräteträger gaben an, dass sie zufrieden bis sehr zufrieden mit ihrer Hörgeräteversorgung sind und dass 15 der 20 Probanden ihre Hörgeräte ganztags und fünf nur zu besonderen Anlässen tragen. Die Hörgeräte wurden durch eine Kontrolle des äusseren Zustandes und durch Abhören mit einem Stethoclip auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft. Bei dieser Überprüfung wurde auf eine genauere Untersuchung der Hörgeräteeinstellung verzichtet. Es wurde davon ausgegangen, dass sich die in den letzten drei Jahren angepassten Hörgeräte alle in einem einwandfreien Zustand befanden. Ausserdem gab jeder Proband an, die regelmässigen Kontrolltermine beim Hörgeräteakustiker einzuhalten. Eine explizite Hörgeräteüberprüfung hätte den zeitlichen Rahmen der Probandensitzung gesprengt. Zudem waren die Probanden mit der momentanen Hörgeräteeinstellung zufrieden.

In **Abb. 4-1** ist der Messraum mit dem Messaufbau zu ersehen. Die Untersucherin saß am Messplatz und hatte direkten Sichtkontakt mit dem Probanden.



**Abb. 4-1:** *Messraum mit Messaufbau*

Nachdem die audiologischen Voruntersuchungen bei jedem Probanden abgeschlossen waren, konnte mit der Probandenmessung begonnen werden. Die Untersucherin wies die Probanden, wie unter **Kapitel 4.2** beschrieben, in die Messung ein, jeder Proband bekam eine neu verwürfelte Liste an Messanordnungen und Satzlisten, wie unter **Kapitel 4.1** beschrieben und jeder Versuchsteilnehmer wurde in der Mitte des Messaufbaus platziert. Bei der Satzdarbietung des OLSA und Basler Satztests wurde der erste Satz mit einem SNR von 0 dB angeboten. Sowohl beim OLSA wie auch beim Basler Satztest fand vor Messbeginn ein Trainingsdurchlauf statt, um Überraschungen und Irritationen beim Probanden auszuschließen. Bei jedem Probanden wurde mit der OLSA-Messung angefangen, da sich dieses Messverfahren als zeitaufwendiger erwies. Die Untersucherin öffnete für die Satztestmessungen die Software Macarena und Adobe Audition, wobei sie in Macarena das Probandenkürzel, den Hörgerätetypus und das Messverfahren angab. In Adobe Audition wählte die Untersucherin die Rauschklangdatei für die entsprechende Messanordnung der OLSA-Messung aus. Um ein möglichst genaues Ergebnis zu erreichen, wurde mit Testlisten gearbeitet, die aus jeweils 30 Sätzen bestanden und nicht mit einer verkürzten Version von 20 Sätzen. Insgesamt veranschlagte die Begrüssung, das audiologische Vorgespräch und die Messung des OLSAs eine Zeit von ca. 45 Minuten, worauf eine 15 minütige Pause folgte. Nach der Pause war die Messung des Basler Satztests an der Reihe. Die Untersucherin wählte in Macarena das Messverfahren Basler Satztest aus und steckte die Lautsprecherinputs, je nachdem welche Messanordnung untersucht wurde, in den entsprechenden Mischpultoutput. Im Anschluss an die Satztests wurde den Probanden ein Fragebogen, wie er in **Anhang 7.7** zu finden ist, vorgelegt, der speziell für die Satztestbefragung angefertigt wurde. Die Fragen des Fragebogens bezogen sich auf die Anstrengung der Testdurchführung, die Natürlichkeit der Satztests, die Qualitätsverbesserung, und wie die Probanden insgesamt die Testlänge beurteilten. Ausserdem wurde danach gefragt, ob die Lautsprecheranordnungen die Konzentration

gestört haben und welcher Satztest anstrengender war, mit Platz für eine Begründung. Der Aufbau des Fragebogens gab dem Probanden geschlossene Antwortalternativen in Form von Skalen vor. Am unteren Teil des Fragebogens hatten die Probanden Platz für individuelle Anmerkungen. Die Protokollierung der Messergebnisse übernahm für beide Satztestverfahren die Macarena-Software.

Während der Proband den Fragebogen zum Satztest ausfüllte, öffnete die Untersucherin die Software Matlab und richtete die Startmaske für die Messung der Höranstrengung ein. Dabei wurden das Probandenkürzel und der SNR-Startwert mit den  $\pm 6$  dB SNR-Werten eingegeben. Danach öffnete die Untersucherin die Software Adobe Audition und wählte die zur Messanordnung gehörige Rauschklangdatei aus. Sowohl bei den Normalhörenden als auch bei den Hörgeräteträgern wurde das Testmaterial (20 zusammen geschnittene Einzelsätze des OLSAs) und das Störgeräusch im entsprechenden SNR-Verhältnis und zufällig über die vier Lautsprecheranordnungen verteilt dargeboten. Die Probanden sollten sich nun die Serie an Einzelsätzen anhören, ohne diese nachzusprechen, und anhand der 7-stufigen Skala auf dem Touchscreen nach der Höranstrengung beurteilen. Die Darbietung der Serien an Einzelsätzen wurde für jeden der drei Messwerte (SNR  $\pm 6$  dB) dreimal wiederholt. Die drei Messwerte wurden durch Matlab zufällig durchmischt.

Es wurde mit dem Probanden ein Probedurchlauf der Höranstrengungsmessung durchgeführt, bei dem sich die Untersucherin vergewisserte, dass der Proband die ihm gestellte Aufgabe verstand. Die Dokumentation der Messergebnisse führte die Software Matlab aus. Nach Beendigung der Messung der Höranstrengung wurde dem Probanden wieder ein Fragebogen vorgelegt. Auf dem Fragebogen zur Höranstrengung (zu finden in **Anhang 7.8**) bewertete der Proband Fragen zur Anstrengung der Testdurchführung, Qualitätsverbesserung, Handhabung und der Testlänge. Ebenso musste die Lautsprecheranordnung ausgewählt werden, die für ihn am angenehmsten war. Die letzte Frage des Fragebogens bezog sich auf die hochdeutsche Aussprache der Satztests und ob diese dem Probanden Schwierigkeiten bereitet hatte.

Die Messung des Basler Satztests nahm eine Zeit von ungefähr 20 Minuten in Anspruch und die Messung der Höranstrengung nur ungefähr 10 Minuten. Insgesamt dauerte ein kompletter Messdurchgang abhängig vom Probanden 1 ½ bis 2 Stunden.

Die Probandenmessung der Hörgeräteträger war damit abgeschlossen. Mit der Gruppe der normalhörenden Probanden wurde ein zweiter Messdurchgang durchgeführt. Dieser Retest-Versuch diente zur Überprüfung der Wiederholbarkeit der drei Messverfahren.

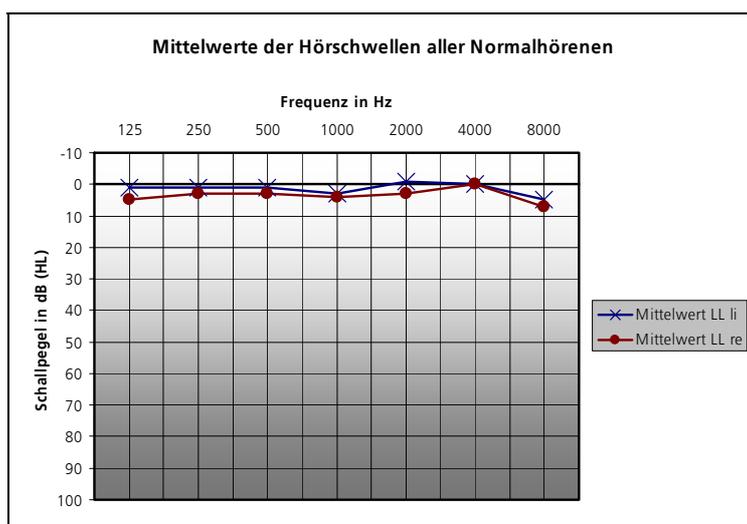
## 5 Messergebnisse

### 5.1 Messergebnisse der normalhörenden Probanden

An den Probandenmessungen nahmen fünf normalhörende Versuchspersonen teil, die zum Zeitpunkt der Messung zwischen 24 und 44 Jahre alt waren (im Durchschnitt 31,6 Jahre). Die Gruppe bestand aus zwei Frauen und drei Männern. Alle fünf Versuchspersonen sprachen Schweizerdeutsch als Muttersprache. Zwei der fünf Versuchspersonen hatten schon Erfahrungen mit Sprachverständlichkeitstests im Störgeräusch, die anderen drei Personen hatten noch nie an einem Satztest oder einem ähnlichen Messverfahren teilgenommen. Voraussetzung für die Teilnahme in dieser Gruppe war, dass der Hörverlust der Probanden in keiner Frequenz zwischen 125 Hz und 8 kHz über 20 dB (HL) lag. Allerdings wurde der noch zulässige Hörschwellenwert von 20 dB (HL) bei einer Versuchsperson bei 8kHz auf dem linken Ohr und auf dem rechten Ohr bei 4 und 8kHz erreicht. Das audiologische Vorgespräch und die Otoskopie bestätigten, dass keine Ohrerkrankung vorlag. Die Gruppe der Normalhörenden kann somit als homogen und tatsächlich normalhörend angesehen werden.

In **Abb. 5-1** sind die Mittelwerte der Tonschwellen aller normalhörenden Versuchspersonen aufgetragen. Im Tonaudiogramm wurden die Seiten separat gemessen. Die blauen Kreuze stehen hierbei für das linke Ohr und die roten Punkte für das rechte Ohr.

Die Probandenmessungen der Normalhörenden fanden wie in **Kap. 4.3** beschrieben statt.



**Abb. 5-1:** Gemittelte Hörschwellen aller Normalhörenden

### 5.1.1 Auswertung der Satztests

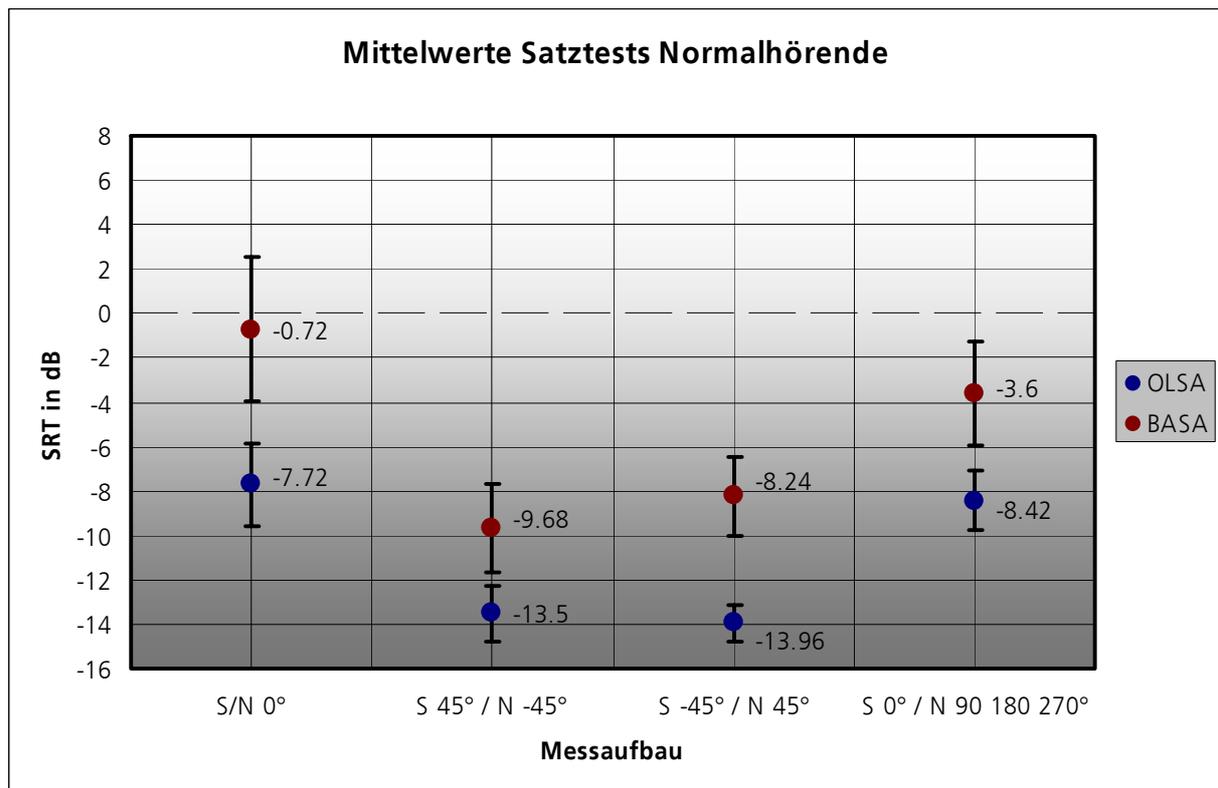
Wie schon bereits in **Kapitel 3.1** erwähnt, wurde für die Auswertung der Messergebnisse der Hörgeräteträger eine Vergleichsgruppe als Referenz benötigt, die möglichst homogen ist. Die Gruppe der Normalhörenden kann als homogene Vergleichsgruppe angesehen werden, da in dieser kein Hörverlust und keine Ohrerkrankungen vorlagen.

Die Messergebnisse des OLSAs und Basler Satztests sind in **Abb. 5-2** dargestellt. In diesem Diagramm sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen der beiden Satztests über die vier Messanordnungen für alle fünf Normalhörenden aufgetragen. Hierbei repräsentieren die roten Punkte die Mittelwerte aus der Basler Satztest-Messung und die blauen Punkte die der Messung des OLSAs.

Aus der Graphik ergibt sich eine Einteilung der Messanordnungen in zwei Gruppen. Offenbar war bei den normalhörenden Versuchspersonen die binaurale Signalverarbeitung des Gehörs intakt, da die Messanordnungen 2 und 3 die besten Resultate ergaben. Die beiden Messanordnungen 1 und 4 wiederum liefern ähnliche Ergebnisse. Das bedeutet wohl, dass durch die Zugabe der drei Lautsprecher, besonders des Lautsprechers von hinten mit einem Einfallswinkel von  $180^\circ$ , der Effekt der binauralen Signalverarbeitung reduziert wird und eine ähnliche Bedingung wie für Messanordnung 1 resultiert. Die Messergebnisse lassen die Vermutung aufkommen, dass vor allem der Lautsprecher von hinten für diesen Effekt verantwortlich ist. Versuchspersonen sind kaum in der Lage, zu unterscheiden, ob ein Geräusch von vorne oder von hinten eintrifft.

Aus der Grafik wird ersichtlich, dass grosse Unterschiede zwischen den vier Lautsprecherkonfigurationen bestehen. Die Ergebnisse der vier Lautsprecherkonfigurationen wurden in vier Gruppen aufgeteilt, um sie durch eine statistische Analyse gegeneinander bewerten zu können. Die statistische Auswertung erfolgt durch SPSS 14.0 für Windows und die graphische Darstellung der Ergebnisse durch Microsoft Office EXCEL 2003. Um die Gruppenmittelwerte miteinander vergleichen zu können, wurde eine ein-faktorielle Varianz-Analyse (ANOVA – Analysis of Variance) benutzt.

Als Signifikanzgrenze für den Mittelwertsunterschied wird ein Wert von 0,05 festgelegt. Die gleiche Grenze gilt für alle Varianz-Analysen, die in dieser Diplomarbeit durchgeführt wurden.

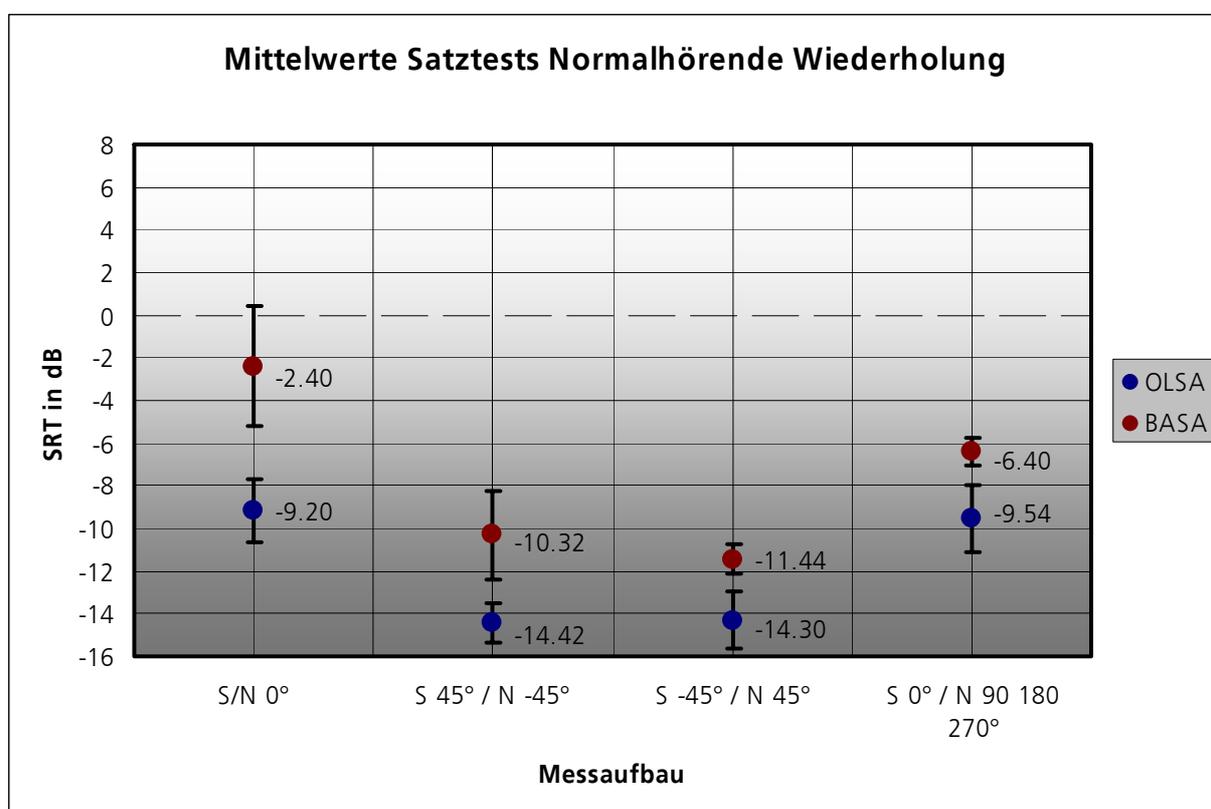


**Abb. 5-2:** Auswertung des OLSAs und Basler Satztests

Bei dem Vergleich von mehreren unabhängigen Stichproben liefert die Varianz-Analyse für die Messung des OLSAs eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0.0001$  für den Wert  $t = 29.196$  der Testgröße  $F$ . Somit wurde die Null-Hypothese verworfen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Lautsprecheranordnungen gibt. Es wurde eine nachgeschaltete Betrachtung der Gruppenmittelwerte nach Bonferroni eingeleitet [25]. Die Bonferroni-Korrektur wird durchgeführt um mehrere Einzelhypothesen zu korrigieren und so die Gesamthypothese zu überprüfen [26]. Die Ergebnisse der Mehrfachvergleiche nach Bonferroni ergaben, dass die Messanordnungen 1 und 4 und die Messanordnungen 2 und 3 zu zwei Gruppen zusammengefasst werden können. Die Messanordnungen 1 und 4 unterschieden sich hoch signifikant von den Messanordnungen 2 und 3 und andersherum. Es herrscht somit eine hohe Gruppensymmetrie.

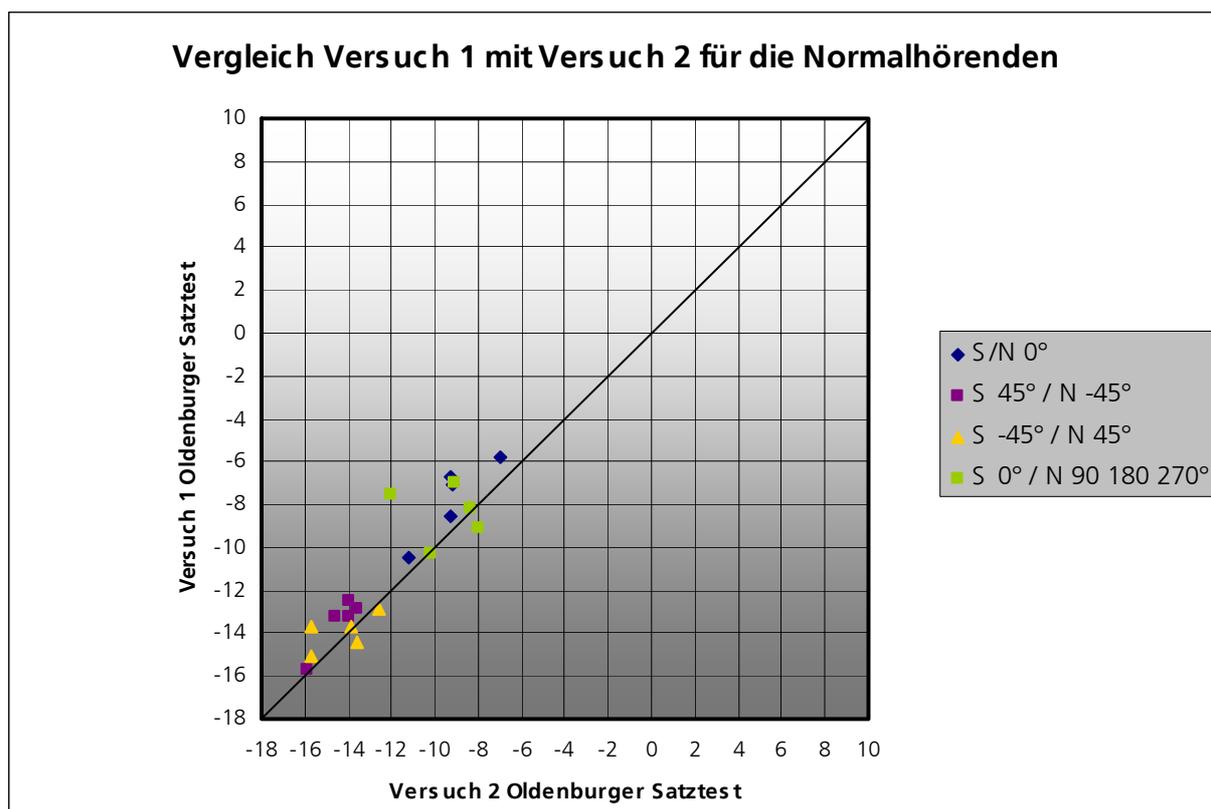
Die Varianz-Analyse wurde auch für die Messung des Basler Satztests durchgeführt und lieferte eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0.0001$  für den Wert  $t = 14.757$  der Testgröße  $F$ . Auch hier kann die Null-Hypothese verworfen werden, dass kein Unterschied zwischen den vier Messanordnungen besteht. Die nachfolgende Bonferroni-Korrektur bestätigte auch bei der Messung des Basler Satztests eine hohe Gruppensymmetrie. Das heißt, die Messanordnungen 1 und 4 und die Messanordnungen 2 und 3 zeigten jeweils keinen signifikanten Unterschied untereinander, jedoch unterschieden sich die Messanordnungen 1 und 4 von den Messanordnungen 2 und 3 signifikant und andersherum.

Um eine Aussage zur Wiederholbarkeit der Ergebnisse der Normalhörenden machen zu können, wurden die beiden Satztests mit den fünf Normalhörenden erneut durchgeführt. In **Abb. 5-3** sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen der fünf Normalhörenden als Wiederholungsmessung dargestellt. Auch bei der Wiederholung der beiden Satztests kann man eine ähnliche Verteilung der Ergebniswerte erkennen. Insgesamt zeigen die Ergebnisse wieder, dass die Messanordnungen 1 und 4 und die Messanordnungen 2 und 3 zusammengehören. Die Varianz-Analyse für die neuen Gruppenmittelwerte des OLSAs ergab wieder eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0.0001$  für den Wert  $t = 22.251$  der Testgrösse  $F$ . Die anschliessende Bonferroni-Korrektur ergab, dass sich die Messanordnungen 1 und 4 nicht signifikant unterschieden, sich aber hoch signifikant von den Messanordnungen 2 und 3 unterschieden und andersherum. Die Irrtumswahrscheinlichkeit für den Basler Satztest ergab  $p = 0.0001$  für den Wert  $t = 25.720$  der Testgrösse  $F$ . Nach der Varianz-Analyse folgte die Bonferroni-Korrektur. Die Ergebnisse der Mehrfachvergleiche zeigten, dass sich die Messanordnungen 2 und 3 nicht signifikant voneinander unterschieden. Jedoch unterschieden sich diesmal die Messanordnungen 1 und 4 signifikant voneinander. Die vier Messanordnungen des Basler Satztests der Wiederholungsmessung lassen sich demnach nicht in die zwei Gruppen einteilen. Es kann davon ausgegangen werden, dass zumindest die Messung des OLSAs wiederholbar ist.



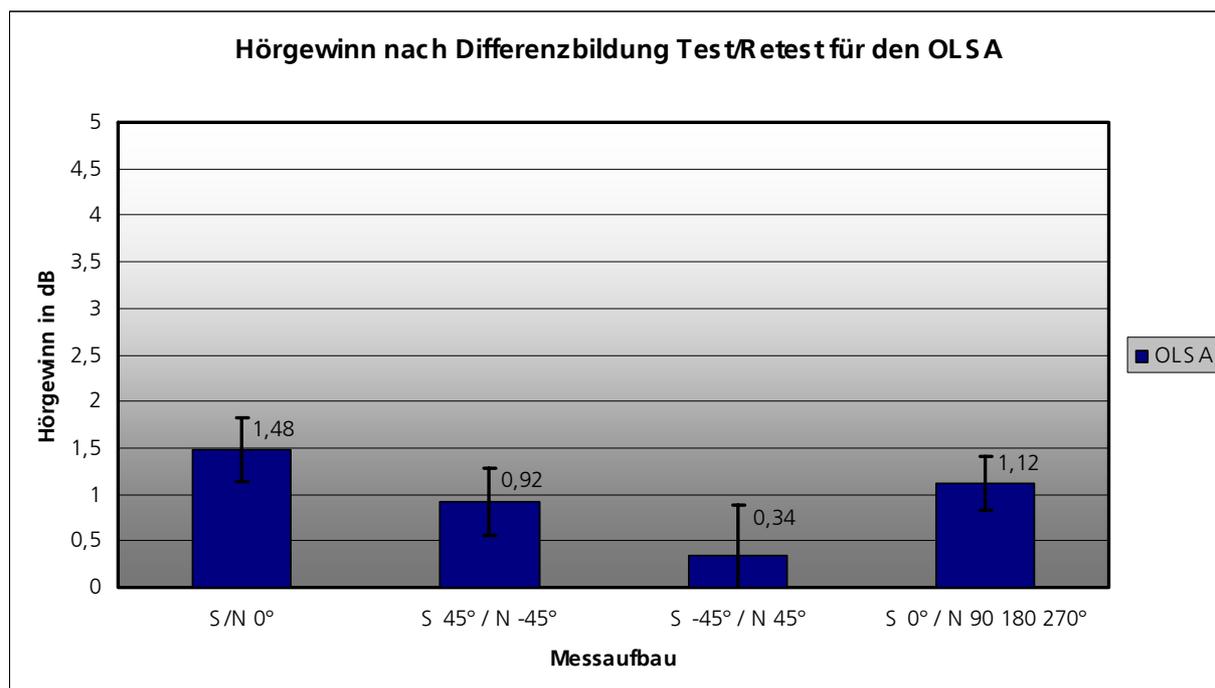
**Abb. 5-3:** Auswertung des OLSAs und Basler Satztests im Retest

In **Abb. 5-4** ist der Vergleich von Versuch 1 mit Versuch 2 für die OLSA-Messung gegenübergestellt. Auch hier sind die zwei Gruppierungen verdeutlicht zu sehen. Eine Varianz-Analyse wurde ebenfalls für den Vergleich zwischen Versuch 1 und Versuch 2 durchgeführt. Der Gruppeneffekt für den Vergleich zwischen Versuch 1 mit Versuch 2 ergab für die OLSA-Messung in der Messanordnung 1 eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0,199$ , was nicht signifikant ist. Bei Messanordnung 2 ( $p = 0,221$ ), Messanordnung 3 ( $p = 0,647$ ) und Messanordnung 4 ( $p = 0,262$ ) lieferte die Varianz-Analyse keinen signifikanten Unterschied zwischen Versuch 1 und Versuch 2 beim OLSA. Dieses Ergebnis zeigt, dass der OLSA wiederholbar ist, da sich die Gruppenmittelwerte wieder in die Gruppeneinteilung gliedern lassen. Die Streuungen der Ergebniswerte um die Diagonale in **Abb. 5-4** ist nicht sehr stark, da sich die Werte nahe der Diagonalen bewegen. Offenbar verändern sich die Ergebnisse nicht sehr stark beim Retest gegenüber dem ersten Durchgang. Daher kann davon ausgegangen werden, dass nur geringe Streuungen bzw. Lerneffekte vorliegen.



**Abb. 5-4:** Verhältnisdiagramm für die OLSA-Messung

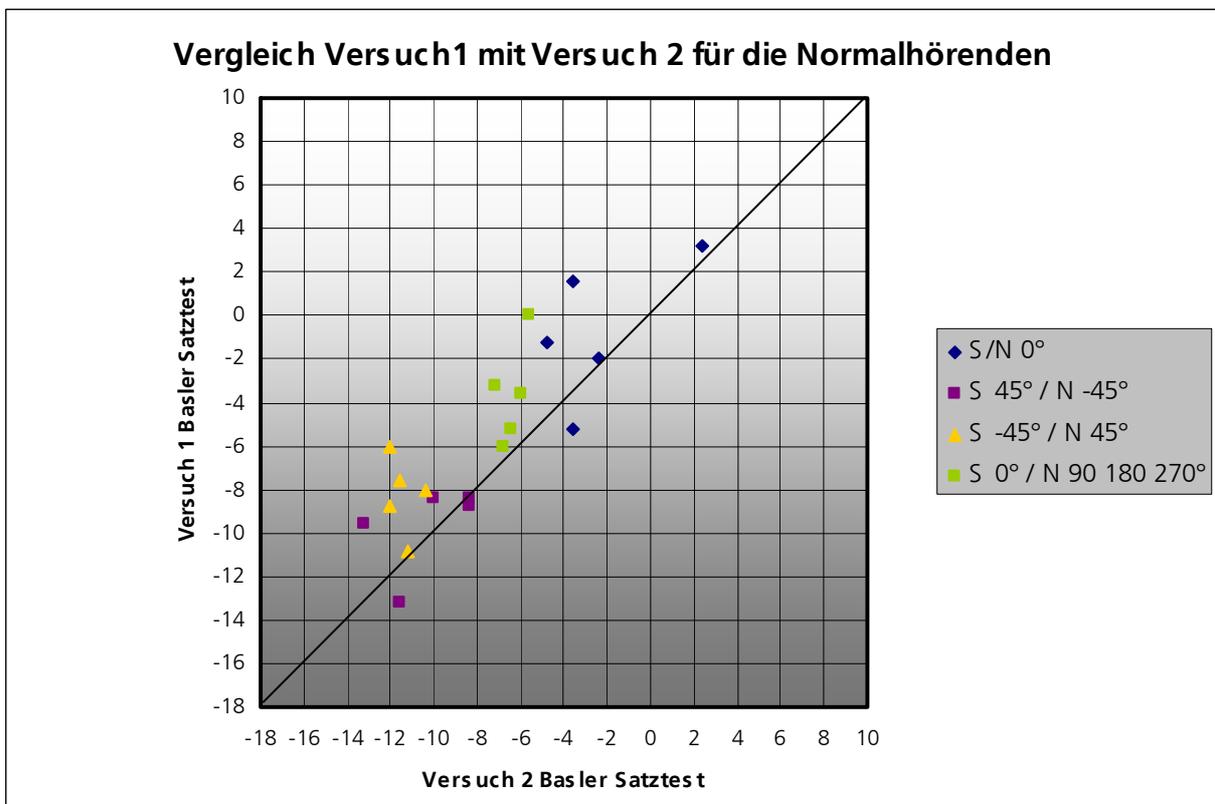
Um die Unterschiede von Versuch 1 zu Versuch 2 noch einmal genauer zu untersuchen, wurde für jede Lautsprecherkonfiguration die Differenz berechnet. In **Abb. 5-5** ist ein Differenzdiagramm dargestellt, welches den Hörgewinn für die einzelnen Lautsprecherkonfigurationen zum Ausdruck bringt. Aus diesem Diagramm ist erkennbar, dass die OLSA-Messung nicht frei von Lerneffekten ist. So ist anscheinend die Messanordnung 1 am stärksten von Lerneffekten belastet, aber auch in den anderen Messanordnungen sind Lerneffekte zu verzeichnen.



**Abb. 5-5:** Differenzdiagramm für die OLSA-Messung

Das Verhältnisdiagramm für den Basler Satztest ist in **Abb. 5-6** dargestellt. Aus dem Diagramm ist zu erkennen, dass auch hier die vier Messanordnungen sich zu zwei Gruppen zusammenfassen lassen. Allerdings finden sich beim Basler Satztest größere Abweichungen zwischen der ersten Messung und ihrer Wiederholung als beim OLSA.

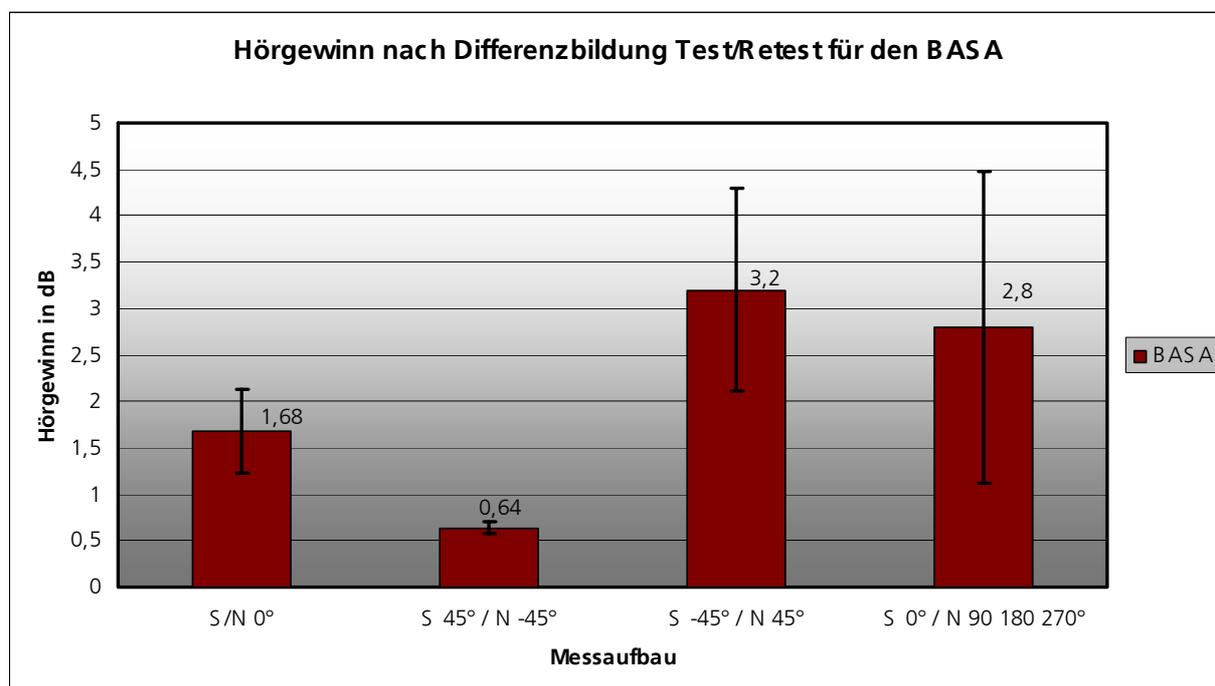
Es wurde auch beim Basler Satztest eine Varianz-Analyse für jede der vier Messanordnungen, zum Vergleich zwischen Versuch 1 und Versuch 2, durchgeführt. Die Messanordnung 1 erbrachte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0,409$  keinen signifikanten Unterschied zwischen Versuch 1 und der Wiederholung. Kein signifikanter Unterschied konnte auch für die Messanordnung 2 mit  $p = 0,636$  bestätigt werden. Ein signifikanter Unterschied bestand für die Messanordnung 3 mit  $p = 0,005$  und für die Messanordnung 4 mit  $p = 0,031$  zwischen den beiden Versuchen. Dieses Ergebnis lässt die Vermutung aufkommen, dass die Ergebnisse des Basler Satztests geringen Schwankungen unterworfen sind. In **Abb. 5-6** ist zu erkennen, dass die Ergebniswerte oberhalb der eingezeichneten Diagonalen liegen. Anscheinend erhält man bei einer Messwiederholung des Basler Satztests bessere Ergebnisse. Das bedeutet, dass sich ein gewisser Lerneffekt beim Retest eingestellt hat.



**Abb. 5-6:** Verhältnisdiagramm für den Basler Satztest

Dieser Lerneffekt wurde in **Abb. 5-7** genauer untersucht. In dem Differenzdiagramm ist die Differenz oder der Hörgewinn für jede Lautsprecherkonfiguration dargestellt. Es geht aus der Darstellung hervor, dass die Messung des Basler Satztests einen größeren Lerneffekt bei Messwiederholung liefert als die OLSA-Messung. Ausser bei der Messanordnung 2 ergab die Messwiederholung des Basler Satztests höhere Ergebniswerte und stimmt so mit der Varianz-Analyse überein.

Das Messergebnis deutet an, dass der Basler Satztest gewissen Lerneffekten unterliegt, sodass die Messergebnisse bei einer Messwiederholung tendenziell besser werden.



**Abb. 5-7:** Differenzdiagramm für die Basler Satztest-Messung

### 5.1.2 Fragebogenauswertung Satztest

Im Anschluss an die Messungen des OLSAs und des Basler Satztests wurde den Probanden ein Fragebogen vorgelegt. Insgesamt empfanden die normalhörenden Probanden die Durchführung der beiden Satztests als mittelmässig anstrengend und ein Proband empfand die Anstrengung als gering. Die normalhörenden Probanden gaben an, dass die beiden durchgeführten Satztests im Störgeräusch mittelmässig bis beinahe stark natürliche Hörsituationen widerspiegeln. Jeweils ein Proband konnte sich gut bzw. sehr gut vorstellen, dass ein praktischer Einsatz von Satztests sinnvoll wäre, um die Hörgeräteanpassung zu verbessern. Zwei Probanden hatten eine neutrale Meinung zu dieser Frage und ein Proband konnte keine Antwort finden. Zwei Probanden gaben an, dass die verschiedenen Lautsprecherkonfigurationen sie stark in ihrer Konzentration gestört hatten. Die übrigen drei Probanden wurden sehr gering, gering und mittelmässig durch die unterschiedlichen Lautsprecherkonfigurationen gestört. Alle fünf normalhörenden Probanden bewerteten die Länge der Satztestdurchführung als kurz und konnten sich so den Einsatz in die Praxis gut vorstellen. Bei der Frage danach, welcher Satztest anstrengender war, entschied sich ein Proband für den OLSA, drei Probanden für den Basler Satztest und ein Proband empfand beide Satztests als nicht anstrengend. Gründe für diese Bewertung waren beim OLSA die Länge der Messdurchführung und beim Basler Satztest die Pegeländerung des Störgeräusches beim letzten Wort, was als sehr störend eingestuft wurde.

Die graphische Auswertung der Fragebögen zu den Satztests der Normalhörenden findet sich in den Diagrammen in **Abb. 5-8**.

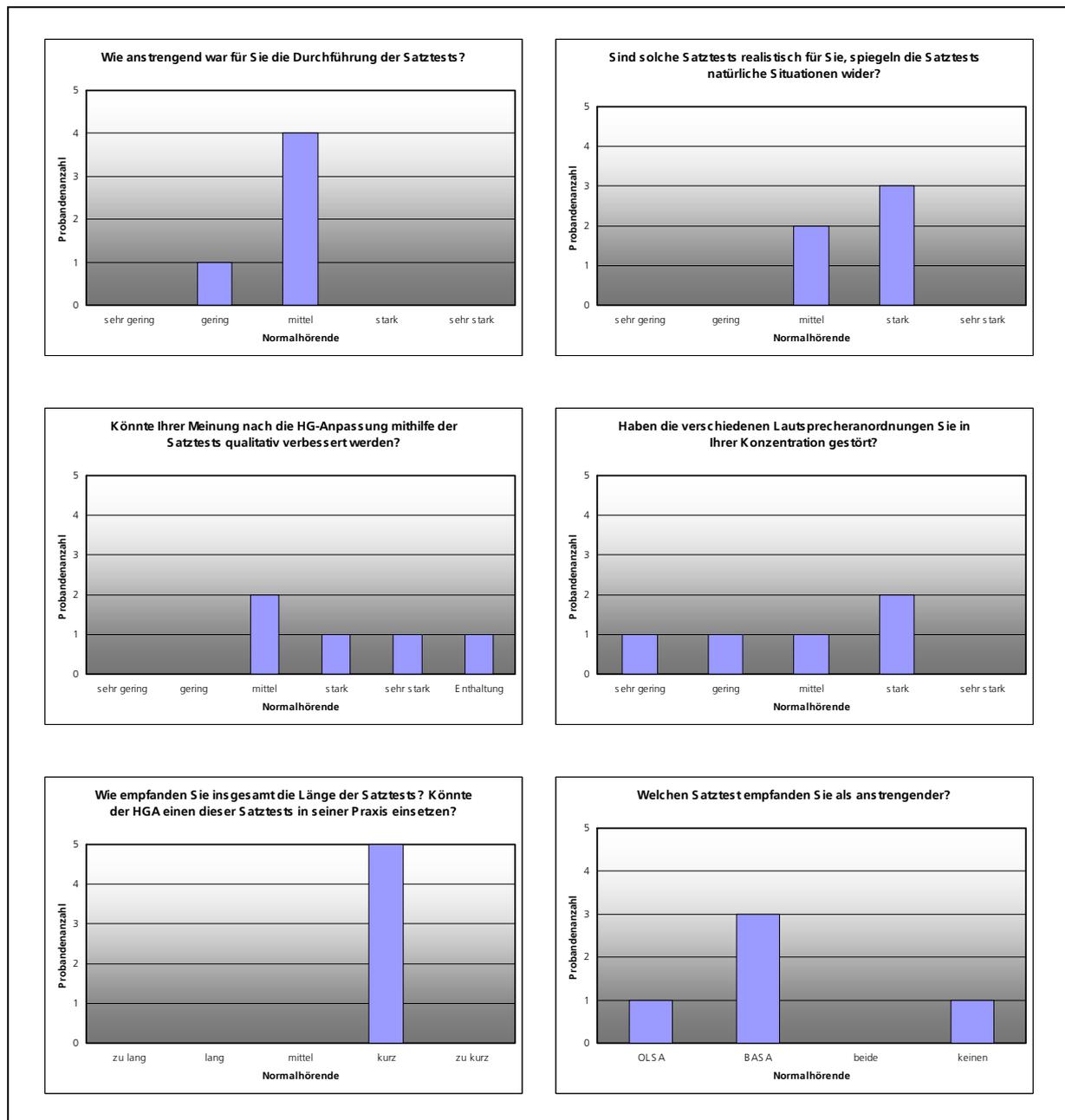
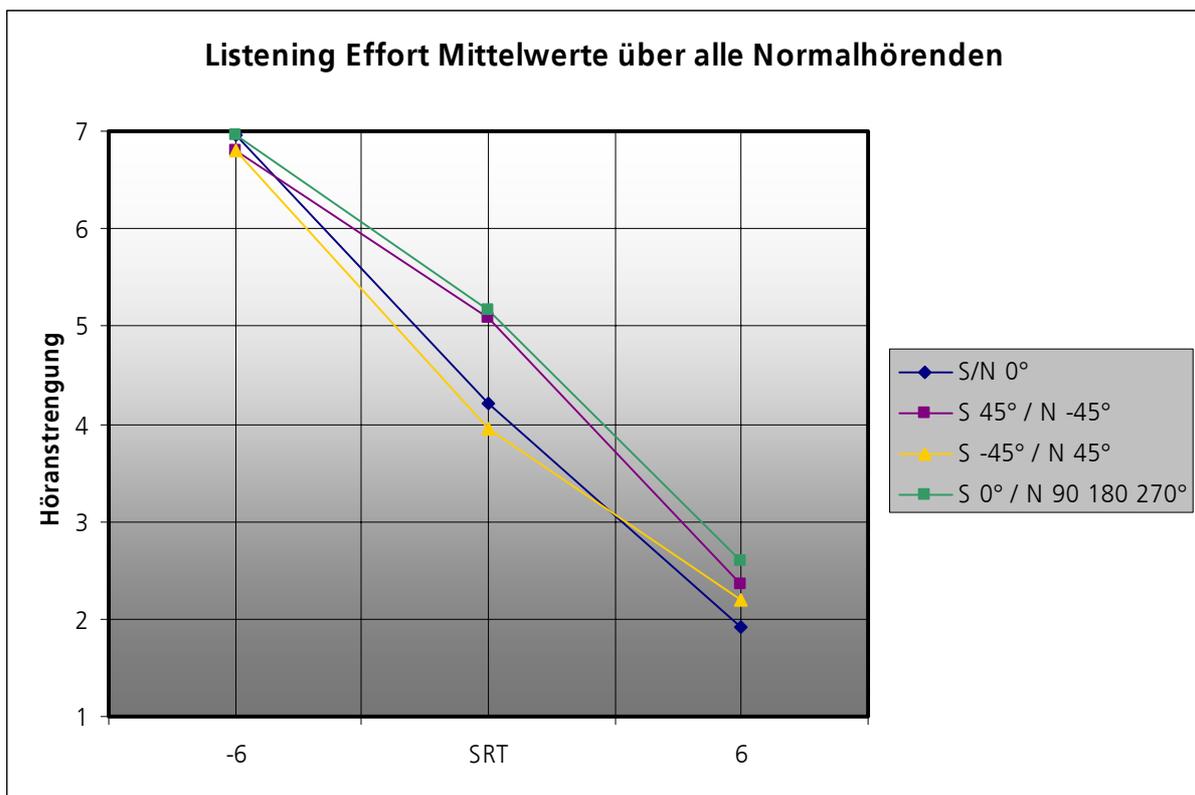


Abb. 5-8: Auswertung der Fragebögen zu den Satztests

### 5.1.3 Auswertung der Höranstrengung

Die Probandenmessungen der normalhörenden Versuchspersonen wurden durchgeführt, wie im **Kapitel 4.3** erläutert.

Aus der **Abb. 5-9** sind die Mittelwerte der Höranstrengungsbestimmung mit den vier Messanordnungen zu ersehen. Im Mittelwertdiagramm ist die Höranstrengung von „extrem schwierig“ (7) bis „extrem leicht“ (1) als Funktion des SRT-Mittelwertes mit  $\pm 6$  dB aufgetragen. Die erwartete graphische Gruppeneinteilung der vier Messanordnungen ähnlich wie bei den Sprachverständlichkeitstests ist leider für die Höranstrengung nicht ersichtlicht. Es scheint sogar so, als ob die Messanordnung 3 bevorzugt wird, da diese Anordnung im Mittel beim SRT als Leichteste gewertet wurde. Ähnlich fallen die Bewertungen mit der Messanordnung 1 aus. Die Messanordnungen 2 und 4 hingegen wurden beide als anstrengender gewertet.

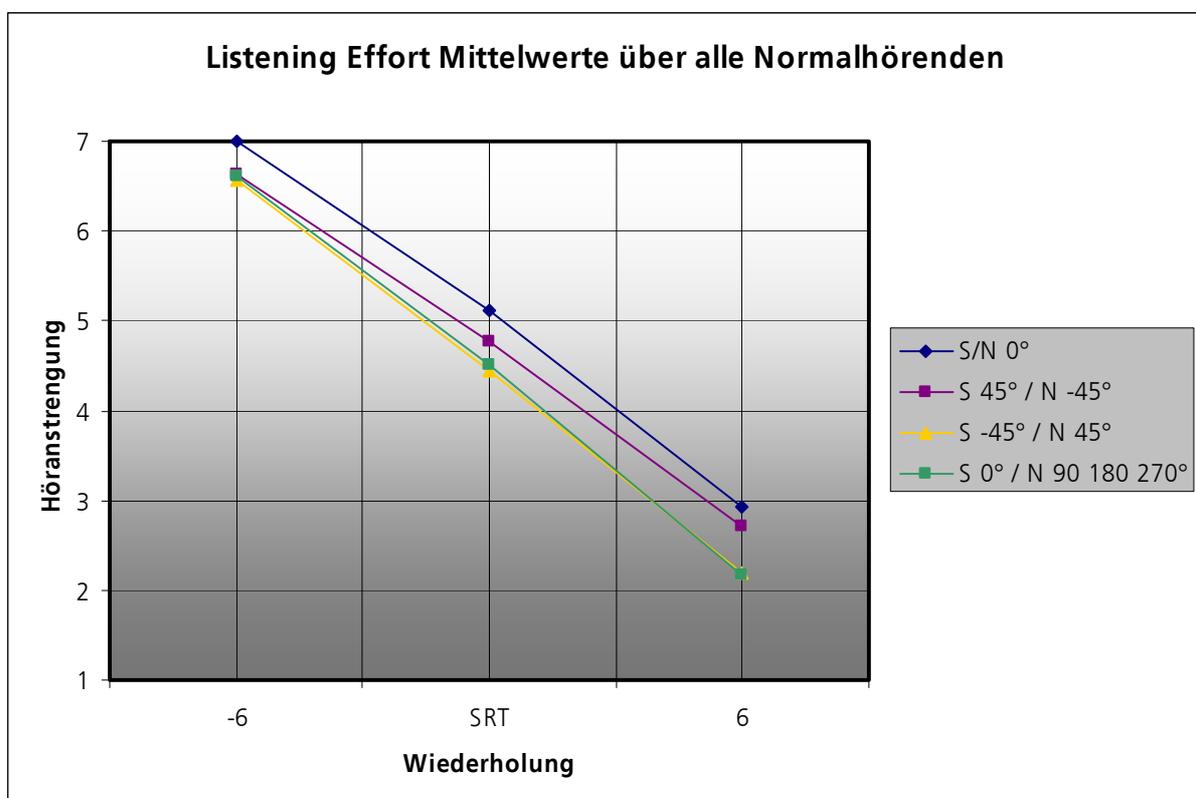


**Abb. 5-9:** Auswertung der Höranstrengung

Um eine Varianz-Analyse durchführen zu können, erfolgte die Gruppeneinteilung in den SRT-Mittelwert und  $\pm 6$  dB. Die Varianz-Analyse ergab, dass sich die Höranstrengung bei den drei Bedingungen +6 dB ( $p = 0.380$ ), SRT ( $p = 0.215$ ) und -6 dB ( $p = 0.839$ ) nicht signifikant innerhalb der jeweiligen Bedingung unterschieden. Die Null-Hypothese, dass kein Unterschied innerhalb jeder der drei Signal-Rauschabstände besteht, wurde damit bestätigt. Ausserdem wurde festgestellt, dass die Mittelwerte der einzelnen Messanordnungen, mithilfe der nachgeschalteten

Bonferroni-Korrektur, auch keine signifikanten Unterschiede zeigten. Die Ergebnisse der statistischen Auswertung bestätigten die Annahme, dass sich die Ergebnisse nicht signifikant unterscheiden.

Die Ergebnisse der Wiederholungsmessungen der Höranstrengung sind der **Abb. 5-10** zu entnehmen. Aus der graphischen Darstellung ist zu erkennen, dass sich die Kurvenscharen der vier Messanordnungen angenähert haben und nicht mehr so stark streuen. Es kam zu einer Umkehrung der Bewertung für die Messanordnung 1, die diesmal als schwierigste Situation gewertet wurde. Die Messanordnung 2 liegt im Mittelfeld und die Messanordnungen 3 und 4 wurden als Lautsprecheranordnung für geringste Höranstrengung beurteilt.



**Abb. 5-10:** Auswertung der Höranstrengung im Retest

Auch die Ergebnisse der Wiederholungsmessung wurden durch die Varianz-Analyse auf Signifikanz getestet. Die Analyse ergab, dass bei der Wiederholung keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Gruppen +6 dB ( $p=0.455$ ), SRT ( $p=0.805$ ) und -6 dB ( $p=0.785$ ) zu finden waren und sich innerhalb der Gruppen nach Bonferroni-Korrektur keine Unterschiede zwischen den Messanordnungen zeigten.

Der graphische Vergleich von Versuch 1 mit Versuch 2 der Messung der Höranstrengung ist in **Abb. 5-11** gezeigt. Es geht aus der Abbildung hervor, dass die Werte relativ stark streuen und sich nur zufällige Übereinstimmungen erkennen lassen. Das wurde bestätigt durch das Ergebnis der Varianz-Analyse, bei der keine Signifikanz innerhalb der drei Gruppen bei den acht Messbedingungen resultierte. Die acht Messbedingungen sind die Messanordnungen 1 bis 4 aus dem ersten und zweiten Messdurchlauf. Um den Zusammenhang der zwei Merkmale, also zwischen Versuch 1 und Versuch 2, zu untersuchen, wurden für alle vier Lautsprecherkonfigurationen die Korrelationen berechnet, welche alle jeweils einen Wert nahe 1 ergaben. Somit kann gefolgert werden, dass die Höranstrengungsbeurteilung bei wiederholter Messung vergleichbare Ergebnisse liefert.

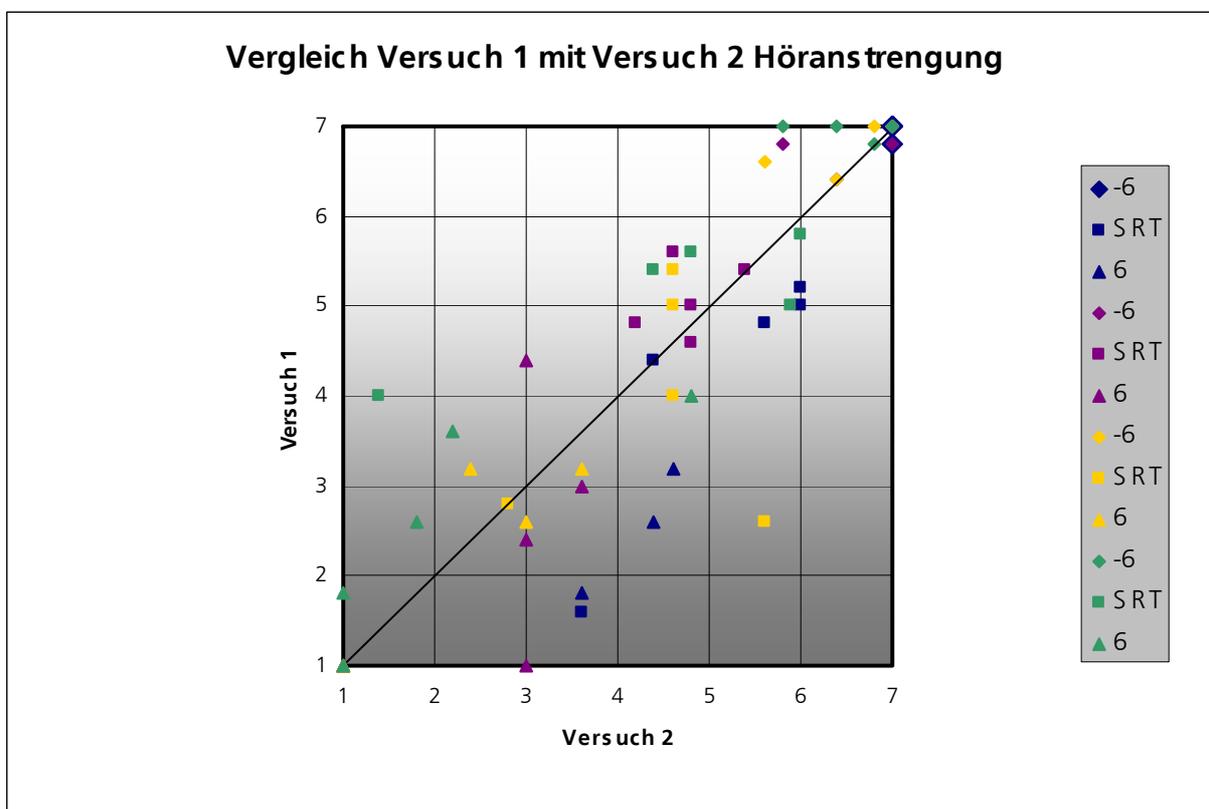


Abb. 5-11: Verhältnisdiagramm für die Höranstrengung

#### 5.1.4 Auswertung des Fragebogens zur Messung der Höranstrengung

Drei der fünf normalhörenden Versuchspersonen gaben im Anschluss an die Messung der Höranstrengung an, dass die Anstrengung während der Testdurchführung sehr gering oder gering bis mittelmässig war. Zwei Probanden gaben an, dass die empfundene Testanstrengung stark war. Drei der fünf Normalhörenden konnten sich gut vorstellen, dass ein Einsatz der Messung der Höranstrengung in die Praxis eine Anpassverbesserung herbeiführen könnte. Ein Proband jedoch konnte sich eine Verbesserung der Hörgeräteanpassung durch die Messung der Höranstrengung nur schwer vorstellen und ein Proband konnte die Frage nicht beantworten. Die Handhabung und Bedienung des Testes der Höranstrengung fiel vier Probanden sehr einfach und einem Probanden einfach. Als eher mittelmässig stufen drei der Normalhörenden die Gesamtdauer der Messung der Höranstrengung ein, eine Versuchsperson bewertete die Messdauer als lang und eine Versuchsperson als kurz. Die Messanordnungen 2 und 3, die als gleichwertig angesehen wurden, wurden als am angenehmsten gewertet, ausser bei einer Probandin, die die Messanordnung 1 am angenehmsten empfand. Dass die Messanordnungen 2 und 3 so gut in der Bewertung abschnitten, mag daran liegen, dass die normalhörende Probandengruppe über gesunde Ohren und über eine intakte binaurale Signalverarbeitung verfügte. Allen fünf normalhörenden Probanden bereitete die hochdeutsche Aufsprache der Satztests keine Schwierigkeiten.

Die graphische Auswertung der Fragebögen zur Höranstrengung ist in **Abb. 5-12** zu ersehen.

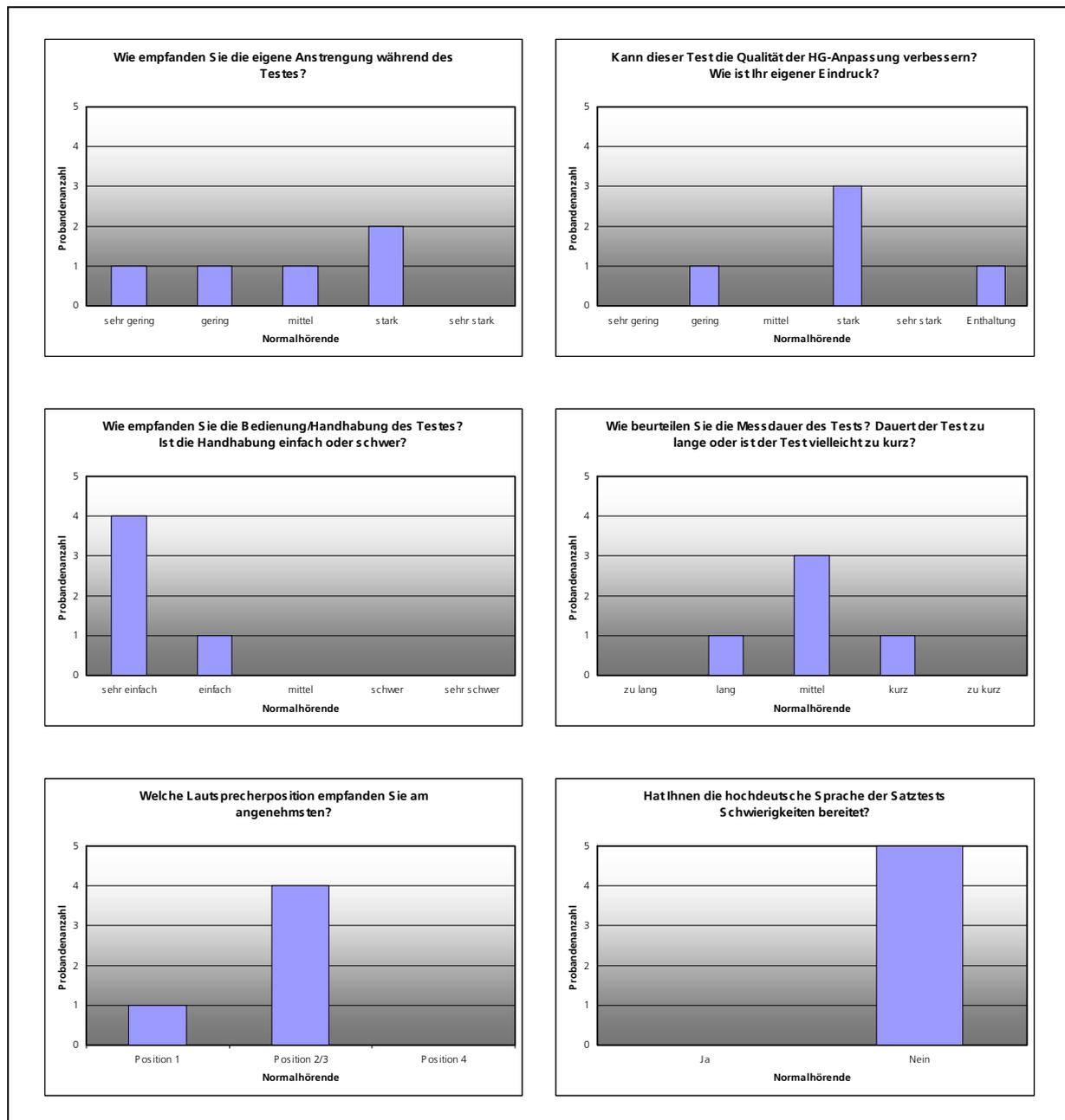


Abb. 5-12: Auswertung der Fragebögen zur Höranstrengung

## 5.2 Messergebnisse der schwerhörigen Probanden

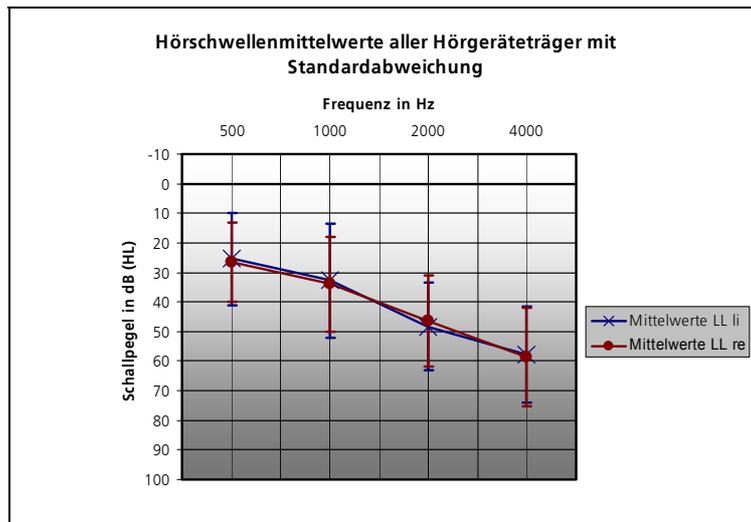
Die Versuchsgruppe der Hörgeräteträger bestand aus 20 Teilnehmern. Zum Zeitpunkt der Messungen waren die jüngste Versuchsperson 42 und die älteste 79 Jahre alt, der Altersdurchschnitt der Versuchsgruppe ergab 65,9 Jahre. Die Versuchsgruppe bestand aus sechs Frauen und 14 Männern, wovon 18 Personen aus der deutschsprachigen Schweiz und zwei Personen aus Deutschland kamen. Bei keinem der Versuchsteilnehmer lag die Hörgeräteanpassung mehr als zwei Jahre zurück. Somit wurde das Auswahlkriterium, dass die Schlussexpertise in den vergangenen drei Jahren stattgefunden haben muss, erfüllt. Alle 20 Hörgeräteträger hatten einen symmetrischen Hörverlust und wurden beidohrig mit modernen Hörgeräten versorgt. Aus der Patientendatenbank der ORL-Klinik des Universitätsspitals Zürich und aus der Anamnese ging hervor, dass es sich bei den Versuchspersonen um elf erfahrende und neun unerfahrene Hörgeräteträger handelte. Die erfahrenden Hörgeräteträger hatten mindestens einmal zuvor Hörgeräte getragen und zum Zeitpunkt der Messungen nicht ihre ersten Hörgeräte benutzt, sondern die kürzlich angepassten Hörgeräte. Die unerfahrenden Hörgeräteträger wurden erst kürzlich zum erstenmal mit Hörgeräten versorgt und waren zum Zeitpunkt der Messungen keine routinierten Hörgeräteträger.

Es wurden zwei IdO und 18 HdO Hörgerätepaare getragen. Da die Auswahlkriterien verschiedene Arten des Hörverlustes erlaubten, nahmen an den Messungen 17 Personen mit einer Schallempfindungsschwerhörigkeit und drei Personen mit einer kombinierte Schwerhörigkeit teil. Von den Hörgeräteträgern gaben zehn Personen in der Anamnese an, dass sie auf dem rechten Ohr besser hörten, eine Person hörte links besser und neun Personen auf beiden Ohren annähernd gleich gut. Elf Versuchsteilnehmer waren schon aus dem Berufsleben ausgeschieden, während neun Personen noch berufstätig waren.

Obwohl die ausgewählten Probanden zufrieden bis sehr zufrieden mit der Hörgeräteversorgung waren, gab es immer noch Situationen, in denen sie Schwierigkeiten hatten, Sprache gut zu verstehen. Die meisten Probanden gaben in der Anamnese an, dass sie in Gesellschaft, wenn viele Menschen durcheinander sprechen, Verständnisprobleme hatten sowie in Situationen, in denen viele Umgebungsgeräusche vorherrschen, wie zum Beispiel auf der Strasse oder in öffentlichen Verkehrsmitteln. Die Probanden hatten also immer Verständigungsprobleme, wenn Sprache durch Störgeräusche überdeckt wurde.

Die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen aller Tonaudiogramme der schwerhörigen Versuchsteilnehmer sind in **Abb. 5-13** zu finden. Auch bei der schwerhörigen Gruppe repräsentieren die blauen Kreuze die Mittelwerte der linken Ohren und die roten Punkte die der rechten Ohren.

Der Versuchsablauf fand bei allen 20 Hörgeräteträgern wie im **Kapitel 4.3** beschrieben statt.



**Abb. 5-13:** Mittelwert mit Standardabweichungen aller Tonaudiogramme der Hörgeräteträger

### 5.2.1 Auswertung der Satztests

Da in den Vorversuchen mit Normalhörendensich der OLSA als zeitaufwendigstes Verfahren herausgestellt hatte, wurde bei jedem Probanden mit dem OLSA angefangen. Um Irritationen bei den Probanden auszuschliessen folgte nach der OLSA-Messung die Messung des Basler Satztests. Zum Schluss erfolgte noch die Messung der Höranstrengung, die einen anderen Messablauf verwendet als die Sprachtests.

Die Ergebnisse beider Satztests finden sich in **Abb. 5-14** wieder. Aus der graphischen Darstellung ist zu ersehen, dass die einzelnen Mittelwerte der vier Messanordnungen wieder einen ähnlichen, badewannenförmigen Verlauf nehmen, der schon bei den Ergebnissen der Normalhörenden deutlich wurde. Allerdings nimmt die Streuung, sowohl beim OLSA als auch beim Basler Satztest, zu. Die Unterschiede der Dynamik zwischen Messanordnung 1 zu 2 und zwischen Messanordnung 3 zu 4 verschmieren und die Ergebnisdarstellung ist gestaucht. Das deutet darauf hin, dass die binaurale Signalverarbeitung mit einer Hörgeräteversorgung nicht mehr im gleichen Ausmass wie bei Normalhörenden erreicht werden kann.

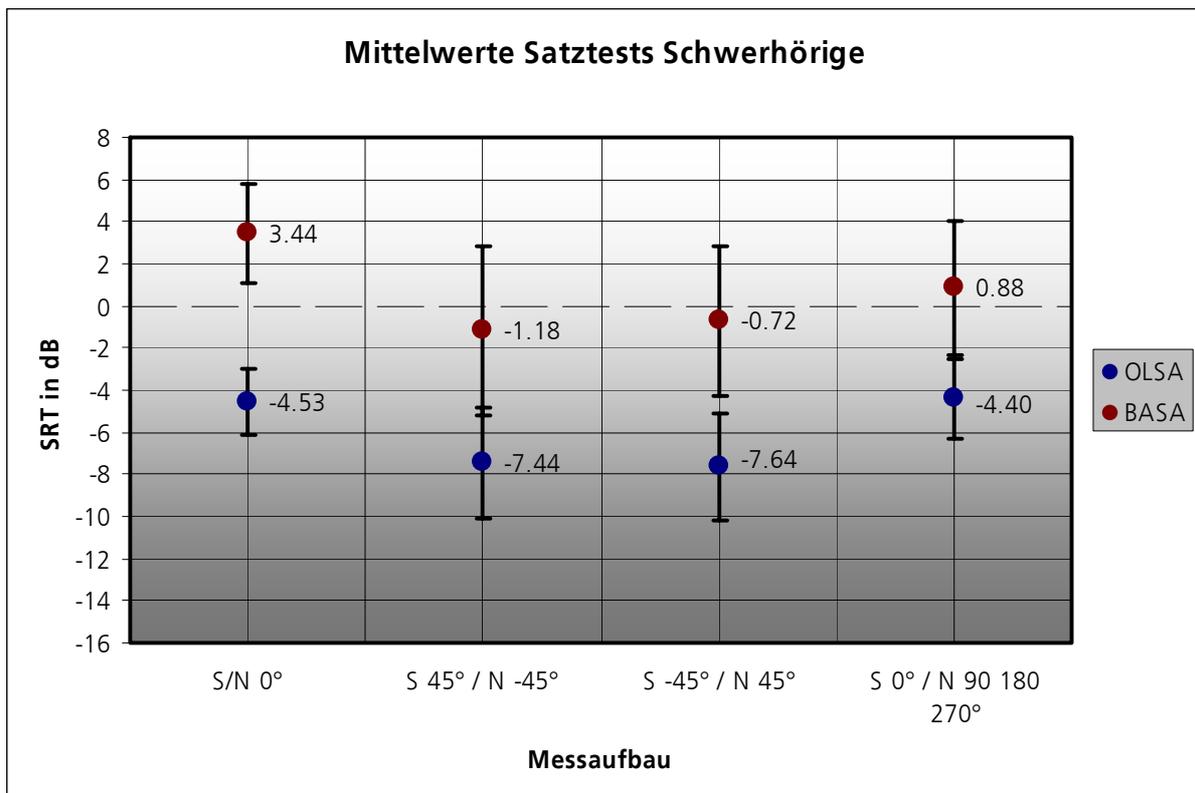
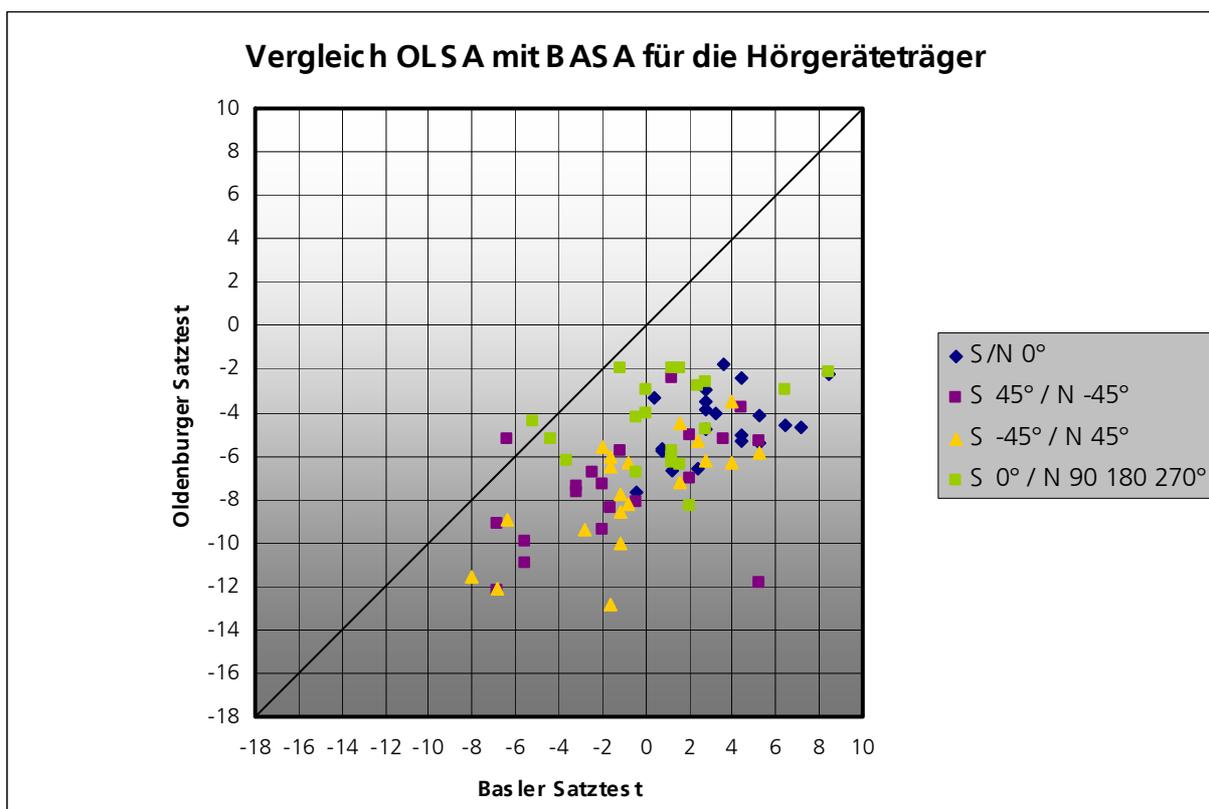


Abb. 5-14: Auswertung des OLSAs und Basler Satztests

Es wurde eine Varianz-Analyse durchgeführt, um herauszufinden, ob innerhalb der Gruppe OLSA und Basler Satztest Unterschiede zwischen den Messanordnungen auftraten. Die Analyse lieferte eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0.0001$  jeweils für den OLSA für den Wert  $t = 12.923$  der Testgrösse  $F$  und Basler Satztest für den Wert  $t = 8.870$  der Testgrösse  $F$ . Wegen der hohen Signifikanz wurde die Bonferroni-Korrektur nachgeschaltet und ergab ähnliche Aussagen über den OLSA wie schon in der normalhörenden Gruppe. Die Messanordnungen 1 und 4 ergaben untereinander keinen signifikanten Unterschied, aber zu Messanordnung 2 und 3 besteht ein signifikanter Unterschied. Das heisst, es wurde auch bei der schwerhörigen Gruppe eine Symmetrie beim OLSA gefunden. Anders sieht es allerdings für den Basler Satztest aus. Die Messanordnung 1 unterscheidet sich signifikant von den Messanordnungen 2 und 3, während die Messanordnung 4 sich nicht signifikant von den Messanordnungen 1, 2 und 3 unterscheidet. Somit besteht beim Basler Satztest nicht die gleiche Symmetrie wie beim OLSA. Es scheint bei der Messung des Basler Satztest so, als ob bei den Hörgeräteträgern der Einfluss der Störgeräuschquelle aus  $180^\circ$  nicht all zu stark ausgeprägt ist. Beim Basler Satztest ist der binaurale Effekt daher weniger abhängig von der Zugabe einer Störgeräuschquelle von hinten.

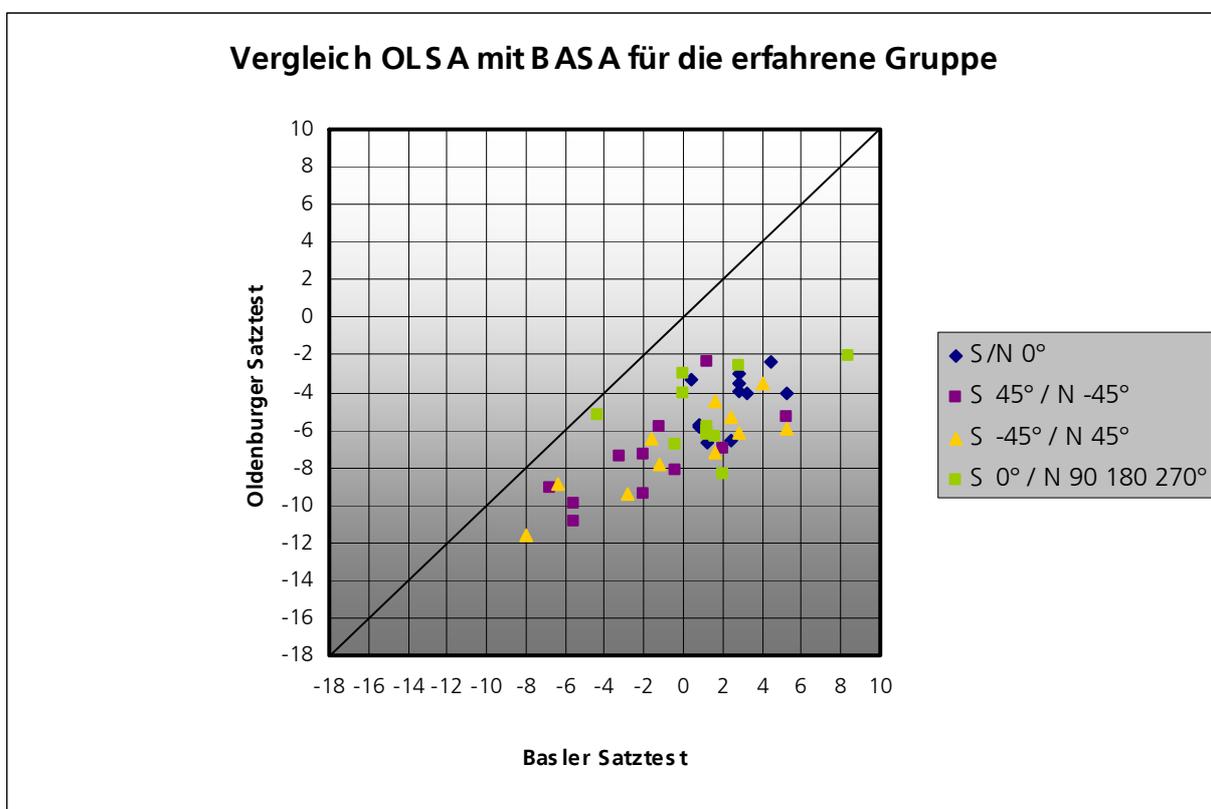
In **Abb. 5-15** ist das Verhältnis des OLSA zum Basler Satztest für die schwerhörigen Versuchspersonen aufgezeigt. Aus dem Diagramm ist zu erkennen, dass die Messwerte unterhalb der Diagonalen liegen und dass die Messwerte stark streuen. Klare Ausprägungen der Punktwolken der einzelnen Lautsprecherkonfigurationen sind nicht auszumachen. Es stellt sich nun die Frage, ob man die Ergebnisstreuung von irgendeiner Grösse abhängig machen kann? Man sollte die Gruppe der Schwerhörigen in weitere Untergruppen einteilen, um eventuell eine Gruppierung der Messanordnungen zu ersehen.



**Abb. 5-15:** Verhältnisdiagramm OLSA und Basler Satztest

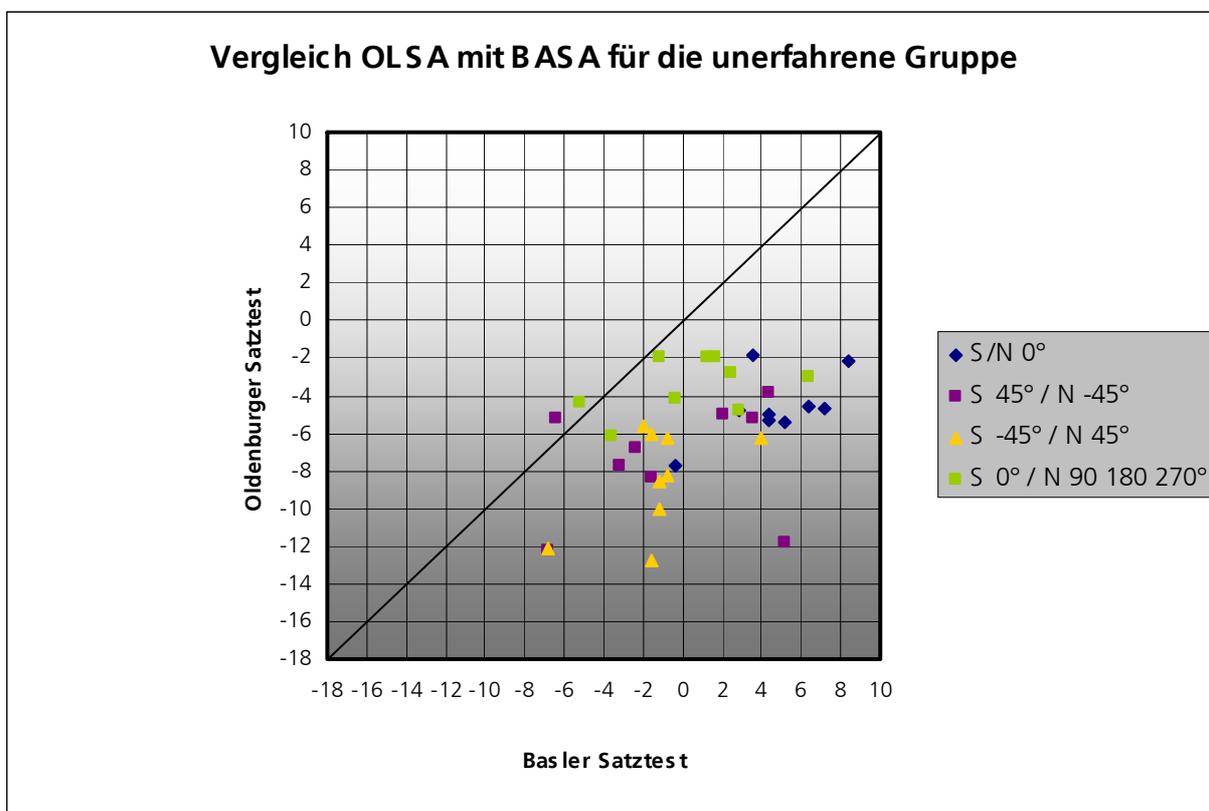
Deshalb erfolgte eine Aufspaltung der schwerhörigen Probandengruppe in die Gruppen erfahrende und unerfahrene Hörgeräteträger.

In **Abb. 5-16** ist das Verhältnisdiagramm der erfahrenden Hörgeräteträger dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Ergebnisse nicht so stark streuen. Bis auf wenige Ausreißer liegen die Ergebnisse entlang einer Geraden, sie sind nur parallel zur Diagonalen verschoben. Die Verdichtung der Ergebnisse zu Gruppen ist leider dem Diagramm nicht so eindeutig zu entnehmen, wie es bei der normalhörenden Versuchsgruppe der Fall war. Eine Gruppenbildung für die Messanordnungen 1 und 4 erscheint eindeutiger als für die Messanordnungen 2 und 3, die in die Messanordnungen 1 und 4 reinstreuen.



**Abb. 5-16:** Verhältnisdiagramm OLSA und Basler Satztest

Das Verhältnisdiagramm für die unerfahrenen Hörgeräteträger ist in **Abb. 5-17** zu sehen. Die Ergebnisse streuen hier etwas stärker als bei den erfahrenden Hörgeräteträgern. Dieses Diagramm ist bestimmt von vielen Ausreißern. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Gewöhnung an das neue Hören mit den Hörgeräten bei den unerfahrenen Hörgeräteträgern wohl noch nicht ganz abgeschlossen ist. Eine Verdichtung der Ergebnisse zu Gruppen kann nur für die Messanordnung 1 bestimmt werden. Die anderen Messergebnisse verschmieren zu einer Gesamtgruppe, wobei sich Messanordnung 4 noch am besten abgrenzen lässt. Die Messanordnung 4 streut zwischen Messanordnung 1 und den Messanordnungen 2 und 3 und lässt daher keine genaue Bestimmung zu, zu welcher Gruppe diese Messanordnung nun zählt.



**Abb. 5-17:** Verhältnisdiagramm OLSA und Basler Satztest

### 5.2.2 Fragebogenauswertung Satztest

Auch bei der Gruppe der Höreräteträger wurde nach den Messdurchgängen der Satztests ein Fragebogen vorgelegt. Die Auswertung der Fragebögen nach den Satztests ergab, dass zehn der schwerhörigen Probanden die Versuchsanstrengung als mittelmässig einstufen. Drei Versuchspersonen empfanden die Versuchsanstrengung als stark, während sechs sie als gering und eine Person als sehr gering beurteilte.

Die Realitätsnähe der Satztests wurde jeweils von sieben Personen als mittel und stark bewertet. Jeweils eine Person entschied sich für sehr gering und sehr stark und drei Personen klagten über geringe Realitätsnähe. Eine Person war der Meinung, dass der OLSA wenig mit der Realität zu tun hätte, dafür aber der Basler Satztest einer alltäglichen Kommunikationssituation nahe kommt.

Eine Qualitätsverbesserung in der Hörgeräteanpassung mit Hilfe der Satztests konnten sich zwölf Personen gut und eine Person sogar sehr gut vorstellen. Jeweils zwei Personen waren aber der Meinung, dass ein Einsatz von Satztests die Anpassqualität mittelmässig und gering verbessern könnte und eine Person sah nur einer sehr geringen Verbesserung entgegen. Zwei Personen konnten diese Frage nicht beantworten.

An den unterschiedlichen Lautsprecherkonfigurationen störten sich gerade einmal fünf Probanden sehr gering und acht Probanden gering. Bei jeweils drei Teilnehmern wurde die Konzentration durch die unterschiedlichen Lautsprecherkonfigurationen mittelmässig und stark gestört und bei einer Person sogar sehr stark.

Da der Zeitfaktor für jede Hörgeräteanpassung wichtig ist und Satztests oft mehr Zeit als Einsilbertests in Anspruch nehmen, wurden die Probanden gefragt, ob die Satztests sich in der Praxis einsetzen lassen, aufgrund der Messdauer. Zwei Personen sprachen sich gegen die Praxisumsetzung aus, sieben waren der Frage gegenüber neutral eingestellt. Acht Personen gaben an, dass eine Umsetzung in die Praxis gut möglich sein könnte und drei Personen konnten sich das sogar sehr gut vorstellen.

Bei der Frage, ob ein Satztest schwieriger sei als der andere, vertraten 15 Personen die Meinung, der OLSA sei anstrengender. Der Hauptgrund für diese Aussage bestand darin, dass die Sätze des OLSAs in sich unsinnig sind, was viele der Versuchsteilnehmer verwirrte und irritierte. Viele Teilnehmer mussten sich erst an die neue Struktur des Messverfahrens gewöhnen, wozu wohl die Darbietung der einen Übungsliste nicht ausgereicht hatte. Ausserdem wurde die Länge des OLSAs kritisiert und das permanent vorhandene Störgeräusch. Drei der Versuchsteilnehmer hatten mehr Mühe mit dem Basler Satztest, was vor allem daran lag, dass es einen Lautstärkeanstieg beim letzten Wort gab und dadurch das Schlusswort schwer zu verstehen war. Einige der Teilnehmer hatten das Gefühl, sie würden eher die Schlusswörter erraten, als sie wirklich zu verstehen. Jeweils eine Person entschied, dass beide Satztests schwierig und leicht seien.

Die graphischen Darstellungen der Fragebogenauswertung sind der **Abb. 5-18** zu entnehmen.

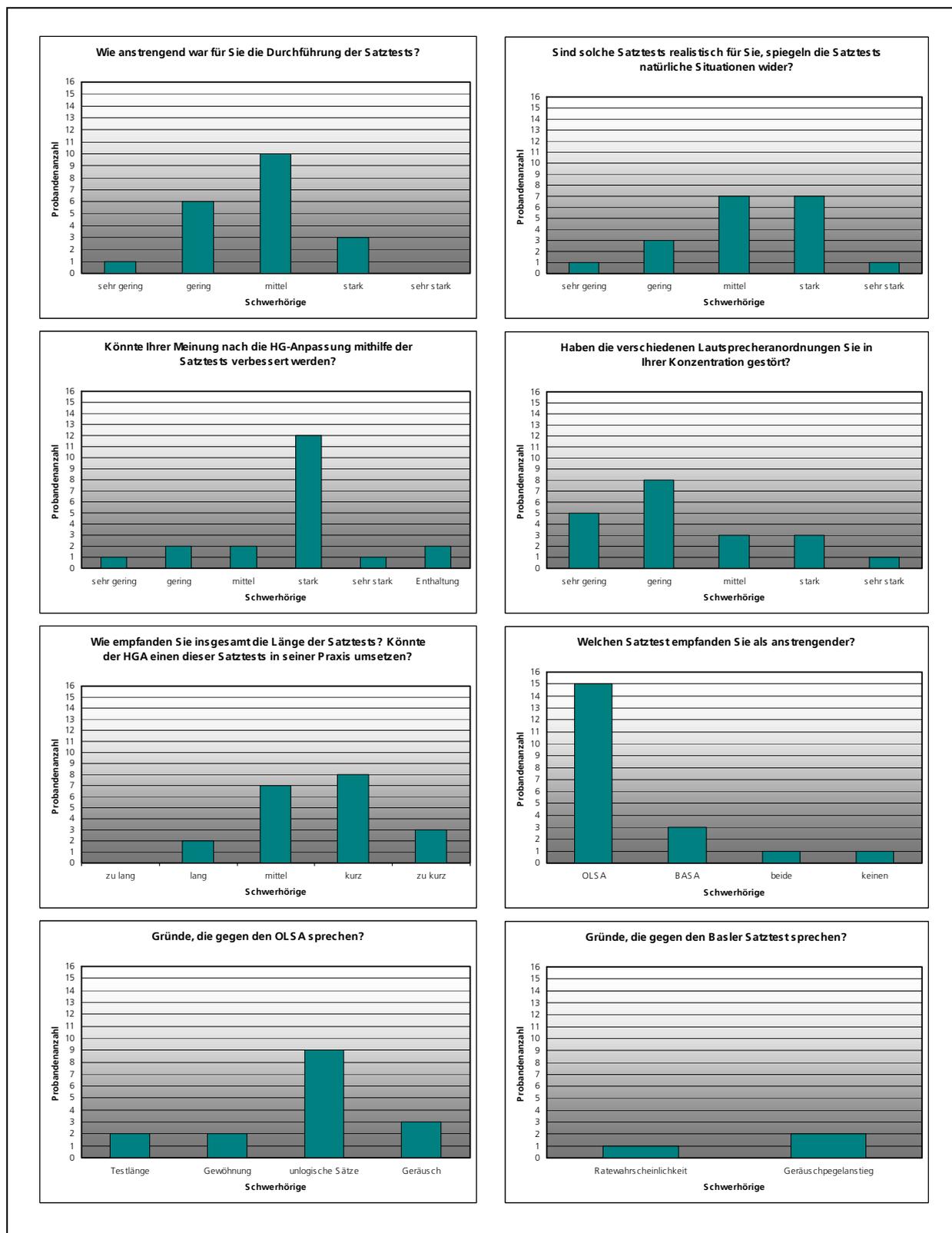


Abb. 5-18: Auswertung der Fragebögen zu den Satztests

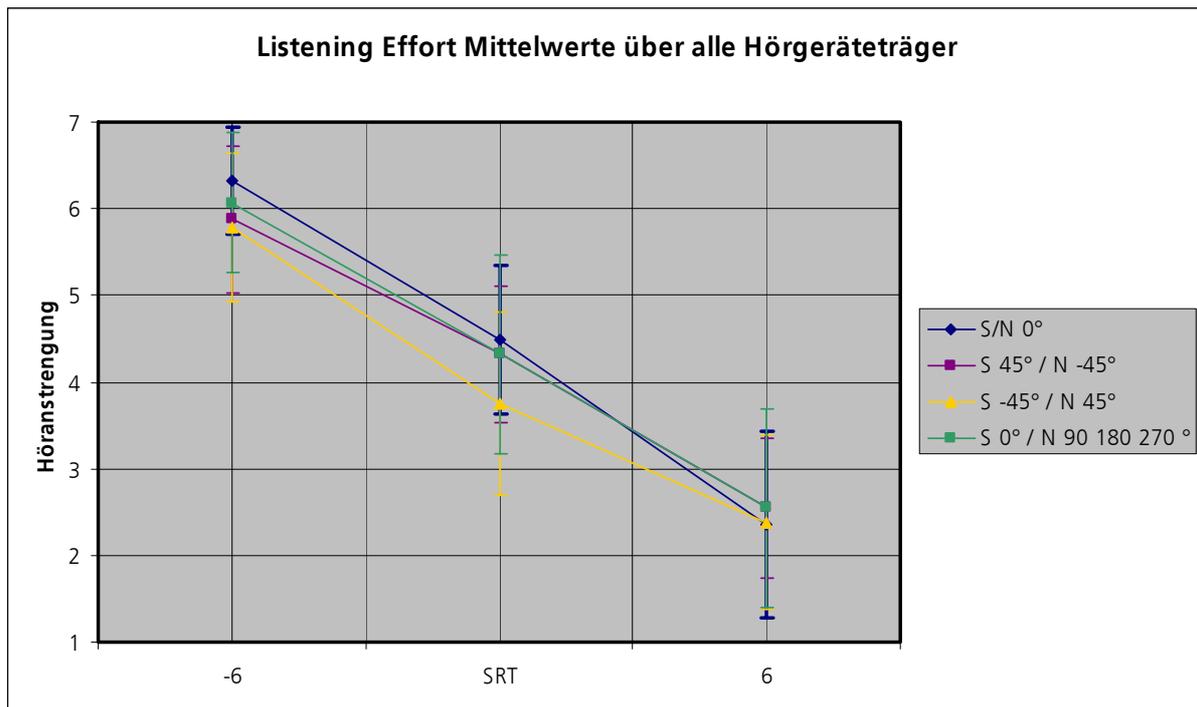
### 5.2.3 Auswertung der Höranstrengung

Bei der Durchführung der Messungen der Höranstrengung ging die Untersucherin vor, wie im **Kapitel 4.3** beschrieben.

Betrachtet man die Mittelwerte der Höranstrengung, die in **Abb. 5-19** dargestellt sind, fällt auf, dass die Messanordnung 3 wieder als am wenigstens anstrengend beurteilt wird. Die Messanordnungen 2 und 4 werden annähernd gleich bewertet und die Messanordnung 1 als am anstrengendsten. Dass die Messanordnung 1 knapp das Schlusslicht bildet, hätte das Ergebnis der Probandenbefragung nicht erwarten lassen. Hier gaben sieben Personen in einer knappen Mehrheit an, sie würden Messanordnung 1 bevorzugen, während sich nur vier Probanden für Messanordnung 2 und 3, die auch noch als gleichwertig angesehen wurden, entschieden. Somit besteht keine Stimmigkeit zwischen den Ergebnissen aus dem Fragebogen und den Ergebnissen aus der Messung der Höranstrengung.

Eine Erklärung für die wiederholte bessere Bewertung von Messanordnung 3 könnte sein, dass eventuell bei den meisten Probanden kein symmetrischer Hörverlust vorliegt. Dadurch funktioniert die räumliche Trennung von Signal und Geräusch auf einer Seite besser als auf der anderen. Das würde aber nicht erklären, weshalb die Normalhörenden auf ein ähnliches Ergebnis kommen. Auch bei der normalhörenden Gruppe schnitt die Messanordnung 3 am besten ab. Auch die Wiederholungsmessung der Höranstrengung mit den Normalhörenden ergab das gleiche Resultat. Möglicherweise hat die Raumakustik einen gewissen Einfluss auf die Ergebnisse. Die Annahme, dass Messanordnung 3 als leichteste Messanordnung, sowohl bei den Normalhörenden wie auch bei den Hörgeräteträgern, bewertet wurde, sollte in weiterführenden Studien zur Höranstrengung überprüft werden.

Die vier Messanordnungen innerhalb der drei Gruppen +6 dB ( $p = 0.152$ ), SRT ( $p = 0.147$ ) und -6 dB ( $p = 0.866$ ) ergaben keine signifikanten Unterschiede in der Varianz-Analyse. Dies bedeutet, dass anscheinend für die Messung der Höranstrengung die Messanordnung einen untergeordneten Einfluss auf das Ergebnis ausübt.



**Abb. 5-19:** Auswertung der Höranstrengung

### 5.2.4 Fragebogenauswertung Höranstrengung

Die an die Messung der Höranstrengung anschliessende Befragung der schwerhörigen Probanden durch einen Fragebogen ergab, dass die Anstrengung während der Messung von sechs Probanden als sehr gering, von sieben Probanden als gering und von fünf Probanden als mittelmässig beurteilt wurde. Zwei Probanden beurteilten die Messanstrengung als stark.

Die Frage, ob durch die Durchführung der Höranstrengung eine Qualitätsverbesserung in der Hörgeräteanpassung erreicht werden könnte, wurde wie folgt beantwortet: Elf der Teilnehmer könnten sich das stark und ein Teilnehmer sogar sehr stark vorstellen. Neutraler Meinung betreffend Qualitätsverbesserung waren sechs Personen. Zwei Personen könnten sich das nur gering vorstellen.

Die Handhabung und Bedienung des Touchscreens fiel elf Personen sehr leicht und sieben leicht. Zwei bewerteten die Bedienung als mittelmässig. Zu diesem Ergebnis muss an dieser Stelle noch hinzugefügt werden, dass die meisten Versuchsteilnehmer keinerlei Berührungsängste mit dem neuen Messverfahren hatten. Sie begriffen sehr schnell die gestellte Aufgabe und machten sich gleich eifrig an die Bewertung.

Bei der Frage nach der Messdauer und ob aufgrund dieser die Höranstrengung in die Praxis umgesetzt werden könnte, hatten elf Teilnehmer eine neutrale Meinung. Jeweils ein Teilnehmer beklagte, dass die Messung lang und sogar zu kurz wäre. Sieben Teilnehmer gaben an, ihnen sei die Messung der Höranstrengung kurz vorgekommen.

Jeder Proband absolvierte den Test für vier verschiedene Messanordnungen. Die Messanordnung 1 wurde von sieben Probanden bevorzugt, knapp danach kam Messanordnung 4 mit sechs Probanden. Vier Probanden entschieden sich für Messanordnung 2 und 3, die als gleichwertig betrachtet wurden und drei Probanden bewerteten alle Messanordnungen als gleich anstrengend.

Lediglich eine Person hatte Probleme damit, dass die Aufsprache beider Satztests in Hochdeutsch gesprochen wurde. Diese Person gab an, dass einige der Wörter des Basler Satztestes zwar bekannt seien, dennoch kaum Verwendung in der alltäglichen Kommunikation der Schweizerdeutsch sprechenden Schweizer finden. Demgegenüber stehen 19 Personen, die keinerlei Probleme mit der hochdeutschen Aufsprache beider Satztests hatten.

In **Abb. 5-20** ist die Auswertung der Fragebögen zur Höranstrengung zu ersehen.

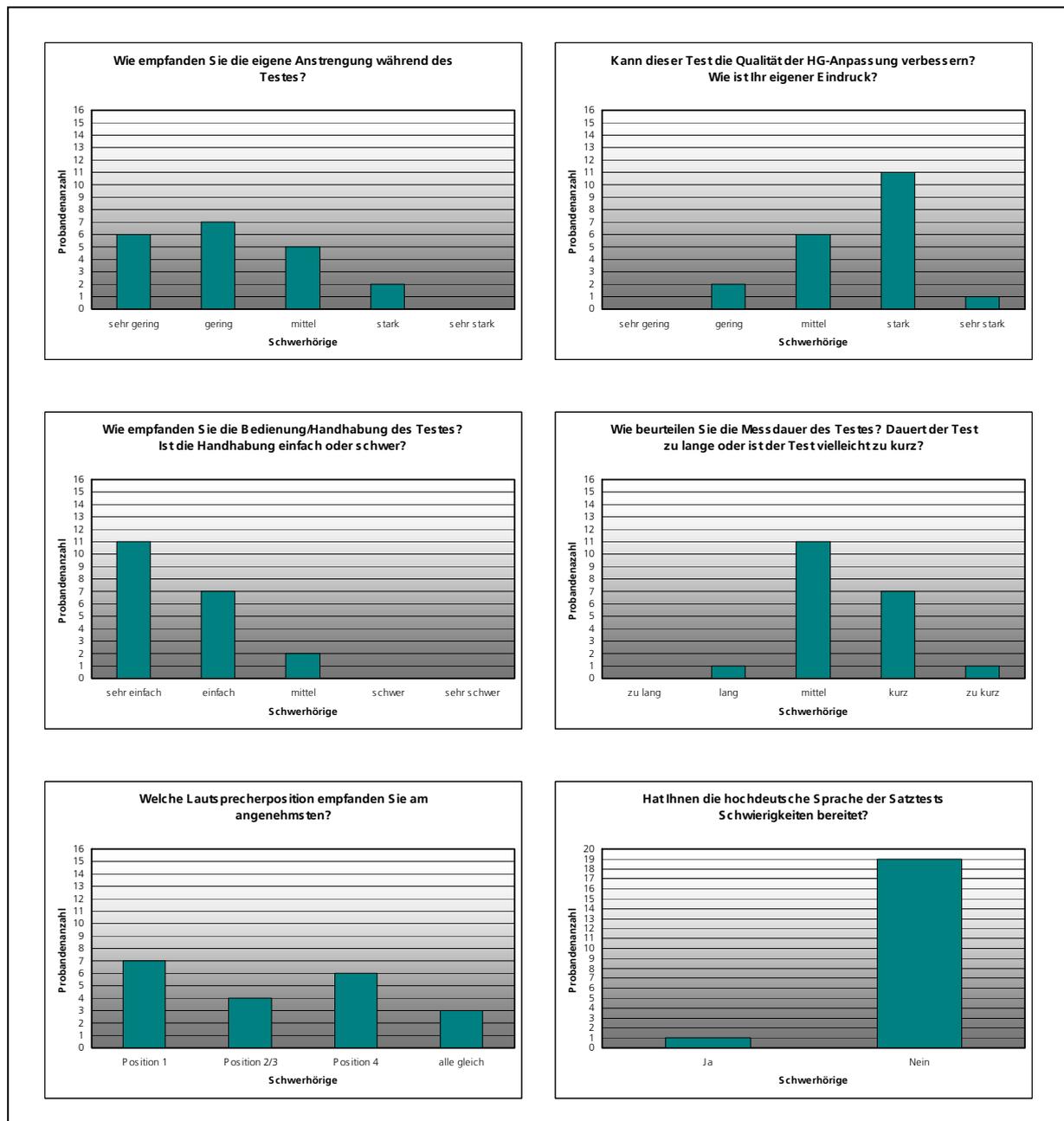


Abb. 5-20: Auswertung der Fragebögen zur Höranstrengung

## 6 Diskussion und Ausblick

### 6.1 Die vier Messanordnungen im Vergleich

Um eine Kommunikationsbeeinträchtigung durch eine Hörstörung erfassen zu können, werden Satztests im Störgeräusch eingesetzt. Die Untersuchung des Sprachverstehens im Störgeräusch ist für die Anpassung und Überprüfung von Hörgeräten eine Möglichkeit, um den tatsächlichen Nutzen einer Hörgeräteversorgung für den Alltag aufzeigen und bestätigen zu können.

Im **Kapitel 5** wurden Sprachverständlichkeitsmessungen im Störgeräusch mit fünf Normalhörenden und 20 Hörgeräteträgern beschrieben. Als Sprachtestmaterial wurde der Oldenburger Satz und der Basler Satztest verwendet und in vier verschiedenen Lautsprecherkonfigurationen präsentiert. Die normalhörende Gruppe wurde zu einer zweiten Sitzung eingeladen und unterzog sich einer Wiederholungsmessung.

Die Ergebnisse der normalhörenden Gruppe lieferten deutliche Unterschiede zwischen den Messanordnungen und zeigten eine gute Wiederholbarkeit auf. Es erwies sich, dass sich bei der OLSA-Messung die Messanordnungen 1 und 4 und die Messanordnungen 2 und 3 nicht signifikant voneinander unterschieden, aber hohe signifikante Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen bestehen. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kam die Wiederholungsmessung des OLSAs. Die Messergebnisse des Basler Satztests beim ersten Messdurchlauf stimmten weitestgehend mit den Ergebnissen des OLSAs überein. Beim Basler Satztest unterschieden sich die Messanordnungen 1 und 4 und die Messanordnungen 2 und 3 nicht signifikant voneinander, aber zeigten signifikante Unterschiede unter diesen beiden Gruppen. Allerdings konnte die Wiederholungsmessung dieses Ergebnis nicht bestätigen. In der Wiederholungsmessung zeigten die Messanordnungen 2 und 3 zwar keine signifikanten Unterschiede, aber die Messanordnungen 1 und 4 unterschieden sich signifikant voneinander. Eine wichtige Erkenntnis, die aus diesen Ergebnissen gewonnen werden kann, ist, dass die Normalhörenden sehr gut von der räumlichen Trennung von Nutz- und Störsignal profitieren und sich dadurch bessere Ergebnisse erzielen lassen. Das verdeutlicht das Ergebnis der Messanordnungen 2 und 3, bei denen das Sprach- und Störsignal aus zwei unterschiedlichen Lautsprechern abgegeben wurden. Normalhörende sind in geräuschvollen Situationen fähig, sich auf Sprache zu konzentrieren und Signale, die als störend empfunden werden, auszublenden.

Allerdings wurde bei der Messanordnung 4 der Effekt der binauralen Signalverarbeitung reduziert. Durch den Wechsel der Position des Sprachsignals auf 0° und durch die Zugabe von drei Lautsprechern, insbesondere einem Lautsprecher von hinten, aus einem Einfallswinkel von 180°, entstand vermutlich dieser Effekt. Daraus lässt sich ableiten, dass es Menschen schwer fällt einzuordnen, ob ein Störgeräusch von vorne oder von hinten auftritt. Die natürliche Störgeräuschunterdrückung, die unser Gehör ausübt, wird in der Messanordnung 4

gestört und es kommt zu einem Ergebnis, was dem aus Messanordnung 1 sehr nahe kommt.

Bei der Gruppe der Hörgeräteträger lässt sich auch die Einteilung der Messanordnung in zwei Gruppen vornehmen. Jedoch waren die Unterschiede zwischen den Messanordnungen geringer ausgeprägt als bei den Normalhörenden. Die Ergebnisse der OLSA-Messung lieferten jeweils keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messanordnungen 1 und 4 und den Messanordnungen 2 und 3, während zwischen diesen beiden Gruppen ein signifikanter Unterschied bestand. Die Einteilung der Messanordnungen in Gruppen gestaltete sich bei der Messung des Basler Satztests als nicht so eindeutig wie es beim OLSA der Fall war. Zwar unterschieden sich die Messanordnungen 2 und 3 signifikant von Messanordnung 1 und andersherum, aber für die Messanordnung 4 konnte dies nicht bestätigt werden. Ein Grund hierfür könnte sein, dass es sich bei den von den Probanden getragenen Hörgeräten zwar um die neuste Generation digitaler Hörsysteme handelt, aber diese immer noch Grenzen im Ausgleich von Hörverlusten aufweisen. So verfügen moderne Hörsysteme zwar über Störschallunterdrückungsalgorithmen, die einen Störschallanteil erkennen, klassifizieren und im entsprechenden Frequenzbereich die Verstärkung reduzieren, doch kann die Technik, die in den High-End-Hörgeräten steckt, keineswegs mit dem gesunden und funktionstüchtigen Gehör mithalten. Ein weiterer Grund für das Ergebnis des Basler Satztests könnte sein, dass die letzten zehn Patientenantworten zum SRT gemittelt wurden, wobei beim OLSA die letzten 20 Patientenantworten den SRT errechnen. Durch die eingeschränkte Anzahl an Patientenantworten beim Basler Satztest leidet möglicherweise die Genauigkeit dieses Messverfahrens.

Als Ergebnis der vorliegenden Arbeit kann festgehalten werden, dass sich die Messanordnung 4 als geeignetste Lautsprecherkonfiguration für eine moderne Hörgeräteanpassung herauskristallisierte. Mit der Praxisumsetzung der Lautsprecherkonfiguration 4 wäre es dem Hörgeräteakustiker möglich, folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Realitätsnähe, da das Störgeräusch unkorreliert dargeboten werden kann.
- Realitätsnähe, da meist Störgeräusche aus verschiedenen Richtungen gleichzeitig auftreten und nicht nur aus einer einzelnen Punktquelle.
- Durch Zu- und Abschalten einzelner Lautsprecher wird es möglich unterschiedliche Räumlichkeiten entstehen zu lassen.
- Einfache Lokalisationsüberprüfungen sind möglich.
- Die Messanordnung 4 wurde von vielen Probanden bevorzugt und als angenehm beurteilt.

Die Untersuchungen der vier verschiedenen Messanordnungen bestätigten die Vermutung, dass die räumliche Anordnung der Störgeräuschquellen einen deutlichen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit von Normalhörenden und Hörgeräteträgern hat. Dem Hörgeräteakustiker sowie dem HNO-Arzt sollte es daher wichtig sein, wie die vergleichenden Messungen, die Anpassung und Überprüfung von Hörgeräten durchgeführt werden.

## 6.2 Beurteilung der Höranstrengung

Menschen halten sich jeden Tag in unterschiedlichsten Hörsituationen auf, in denen Sprache und Störgeräusche auf ihr Gehör auftreffen. Je nach Situation erfordert die sprachliche Kommunikation eine höhere oder geringere Höranstrengung. Faktoren, welche die Höranstrengung beeinflussen, können zum Beispiel der Signal-Rausch-Abstand, die Art des Störgeräusches sowie die räumliche Anordnung von Sprach- und Rauschsignalen.

Die Messung der Höranstrengung stellt ein neues Messverfahren dar, welches in der vorliegenden Arbeit untersucht wurde. Ausgehend von den Ergebnissen der Probandenmessungen sollte überprüft werden, ob und in welcher Weise dieses Messverfahren in der Praxis eingesetzt werden könnte. Die Vermutung, dass auch die räumliche Anordnung eine Beeinflussung ausübt, galt es außerdem in der Diplomarbeit zu untersuchen.

**Kapitel 5** beschreibt die Untersuchungen zu dieser Fragestellung mit fünf Normalhörenden und 20 Hörgeräteträgern. Hierbei wurde getestet, ob die Probanden verschiedene Höranstrengungen bei unterschiedlichen Messanordnungen der Lautsprecher haben. Der Oldenburger Satztest und das dazugehörige Störgeräusch fanden Verwendung bei der Messung der Höranstrengung, da man mit der Messung der Höranstrengung eine natürliche Kommunikationsbedingung nachbilden wollte. Ausgehend von dem SRT-Wert aus der OLSA-Messung wurde für jede Messanordnung ein Startwert gefunden, der zu einer mittelgradigen Höranstrengung führen sollte. Um einen Verlauf der Höranstrengung zu bilden, wurde in die Richtungen „extrem leicht“ bis „extrem schwierig“ der SRT-Wert  $\pm 6$  dB gemessen.

Das Ergebnis der normalhörenden Gruppe sowie das aus der Wiederholungsmessung liessen leider keine Annahme über einen Einfluss der räumlichen Lautsprecheranordnungen zu. Die Ergebnismittelwerte der drei SNR-Schrittweiten zeigten sowohl bei der Messung der Höranstrengung als auch bei ihrer Wiederholung keinen signifikanten Unterschied innerhalb der drei Gruppen +6 dB, SRT und -6 dB. Sogar ein Vergleich zwischen der Messung der Höranstrengung und ihrer Wiederholung ergab keinen signifikanten Unterschied.

Bei einer näheren Betrachtung der Ergebnisse der beiden graphischen Darstellungen (**Abb. 5-9** und **5-10**) lässt sich erkennen, dass Messanordnung 3 immer am besten abschnitt. Sowohl bei der Messung der Höranstrengung als auch bei ihrer Wiederholungsmessung wurde die Messanordnung 3 von den normalhörenden Probanden als leichteste Messanordnung eingestuft.

Die Messergebnisse der Hörgeräteträger sind vergleichbar mit denjenigen der Normalhörenden. Innerhalb der drei Gruppen +6 dB, SRT und -6 dB ergab die Varianz-Analyse keinen signifikanten Unterschied zwischen den vier Messanordnungen. Das bedeutet aber auch, dass die Ergebnisse der Normalhörenden und der Hörgeräteträger gut ausfallen. Vor Messbeginn der

Höranstrengung wurde der SRT-Wert aus der OLSA-Messung als Startwert für die Höranstrengung gewählt. In den Ergebnisabbildungen der Höranstrengung liegen die Kurvenscharen der vier Messanordnungen deshalb sehr nahe beieinander, da der SRT-Wert und auch die Schrittweiten  $\pm 6$  dB relativ gemacht wurden. Ein Einfluss der vier Messanordnungen ist daher kaum noch erkennbar. Das gilt umso stärker, je höher die Probandenanzahl der Versuchsgruppen war. So weisen die Kurvenscharen der Hörgeräteträger eine grössere Deckungsgleichheit auf, als die der Normalhörenden.

Was aber auch bei den Hörgeräteträgern aus der graphischen Darstellung der Ergebnisse hervorgeht ist, dass Messanordnung 3 wieder als leichteste Messanordnung eingestuft wurde. Diese Übereinstimmung der beiden Probandengruppen sollte noch einmal näher beleuchtet werden. Woran könnte es liegen, dass ausgerechnet die Messanordnung 3 sowohl bei den Normalhörenden als auch bei den Hörgeräteträgern als leichteste Messanordnung abschnitt?

Eine definitive Bestimmung, weshalb die Messanordnung 3 so gut abschnitt, kann allein aus den vorliegenden Ergebnissen nicht getroffen werden. Was man aber definitiv sagen kann, ist, dass immer die gleichen Messbedingungen bei den vier Messanordnungen herrschten, um systematische Beeinflussungen der Ergebnisse zu minimieren. Das heisst, der Messaufbau blieb unverändert, die Reihenfolge der Messanordnungen wurde zufällig durchmischt und beim Störgeräusch wurde auch darauf geachtet, dass am Patientenohr ein Pegel von 65 dB(A) eingehalten wurde, egal aus welchem Lautsprecher das Störgeräusch dargeboten wurde.

Als Schlussfolgerung zu den Probandenmessungen ist festzuhalten, dass der Test und Retest der normalhörenden Gruppe eine starke Korrelation der meisten Messwerte ergibt. Die Messung der Höranstrengung ist deshalb wiederholbar. Die Streuungen der Messwerte scheinen von mehreren Faktoren abhängig. Eine geschlossene Skalenvorgabe lässt einen grossen Spielraum an Bewertungen zu. Zufällige Beeinflussungen des Patienten, wie zum Beispiel Schwankungen in der Konzentration oder die Tagesform, könnten auch die Ergebnisse beeinflussen. Eventuell könnte auch die Formulierungsart in der Instruktion zur Streuungen beitragen. Zudem wäre zu überlegen, ob man bei der Messung der Höranstrengung mit mehr als drei Messwerten arbeiten sollte. Dadurch könnte eine grössere Genauigkeit der Messung erzielt werden.

Die Messung der Höranstrengung wurde von den meisten Versuchsteilnehmern sehr positiv angenommen. Das Messverfahren stiess sowohl bei den Normalhörenden als auch bei den Hörgeräteträgern auf eine grosse Akzeptanz. So zeigten die meisten Versuchspersonen keinerlei Berührungsängste zu der ihnen gestellten Aufgabe oder zur Technik und vermittelten sogar den Eindruck, dass ihnen die aktive Mitarbeit Freude bereitete. Die Probanden hatten mit der Handhabung und der Bedienung des Touchscreens keine Schwierigkeiten und zeigten dies in einer eifrigen Durchführung der Höranstrengungsbewertung. Dieser Eindruck wurde auch durch die Aussagen der Probanden bei der nachfolgenden Befragung untermauert.

Insgesamt erforderte die Einweisung, der Trainingsdurchgang und die Messung der Höranstrengung in den vier verschiedenen Lautsprecherkonfigurationen eine Messdauer von ungefähr 10 min.

Die folgenden Aussagen und Feststellungen sprechen für eine Umsetzung der Messung der Höranstrengung in die Praxis:

- Die Messung der Höranstrengung wurde von jung und alt positiv akzeptiert.
- Die Handhabung und Bedienung des Touchscreens ist einfach.
- Die Messdauer der Höranstrengung ist sehr kurz.
- Der Patient wird aktiv in den Anpassprozess eingebracht.
- Der Patient kann Unterschiede in der HörgeräteEinstellung und zwischen verschiedenen Hörsystemen selbst erleben.
- Die subjektive Komponente des Patienten findet Berücksichtigung bei der Hörgeräteanpassung.

Allerdings kann man neben der Messung der Höranstrengung nicht auf die Ergebnisse aus Sprachtestverfahren verzichten. Die Messung der Höranstrengung kann Sprachtestverfahren nicht ersetzen, da mit der Messung der Höranstrengung nur subjektive Komponenten erfasst werden. Unterhaltungen finden meistens in ganzen Sätzen statt und um eine Kommunikationsbeeinträchtigung aufgrund einer Hörstörung erfassen zu können, sind bei der Hörgeräteanpassung Sprachtestverfahren nach wie vor sinnvoll und nützlich.

Die Höranstrengungsbewertung sollte jedoch in weiteren Studien noch genauer untersucht werden, da dieses Messverfahren nicht nur einen subjektiv empfundenen Nutzen für eine bestimmte HörgeräteEinstellung erfasst, sondern auch den Patienten durch aktive Mitarbeit an der Hörgeräteanpassung teilhaben lässt. Um den Einfluss der räumlichen Anordnung der Lautsprecher genauer zu untersuchen, empfiehlt sich das Arbeiten mit einem festen SRT-Wert und mehreren Punkten oberhalb und unterhalb des SRTs. In den weiterführenden Studien sollte mit einer grösseren Anzahl an Probanden und mit unterschiedlichen akustischen Situationen sowie HörgeräteEinstellungen gearbeitet werden.

### 6.3 Zusammenfassung und Ausblick

Im deutschsprachigen Raum finden fast ausschliesslich Sprachtestverfahren Anwendung, die bereits vor längerer Zeit in einer DIN-Norm festgelegt wurden. Trotz vielfacher Kritik am Sprachmaterial und an deren Durchführung konnte sich bislang keines der moderneren Sprachtestverfahren in der Praxis durchsetzen. Das liegt sicherlich daran, dass dafür noch keine DIN-Normen vorliegen und dass eine Umstellung auf neue Verfahren oft eine flexible Mitgestaltung des Anwenders erfordert. Häufig lassen aber auch die räumlichen, finanziellen und personellen Gegebenheiten keinen Wechsel zu.

Die Heil- und Hilfsmittelrichtlinien zur Hörgeräteversorgung verweisen für die Anpassung und Überprüfung von Hörgeräten auf die DIN-ISO 8253-3 (audiometrische Prüfverfahren Teil3, Sprachaudiometrie), die standardisierte Prüfverfahren und eine Vorgabe zur Durchführung dieser vorschreibt. Aber auch andere Vorgaben zur Durchführung der Sprachaudiometrie sind zulässig. Diese unterschiedlichen Vorgaben sorgen für abweichende Messbedingungen zwischen dem Hörgeräteanpasser und dessen Kontrollorgan, dem HNO-Arzt. Wie sollen auch bei diesen Gegebenheiten vergleichbare Ergebnisse zustande kommen? Man müsste sich also in der Hörgeräteversorgung auf einen gemeinsamen Standard einigen, um eine Qualitätsverbesserung in der Anpassung und Überprüfung von Hörgeräten zu erreichen.

Bei der Einigung auf einen gemeinsamen Standard sollte darauf geachtet werden, dass man ein Messverfahren findet, das das Gehör realitätsnäher austestet, als es die traditionellen Messverfahren zulassen. Der Freiburger Einsilbertest ist in der Praxis zwar weit verbreitet, jedoch wegen seiner vielen Nachteile nicht mehr zeitgemäss für eine moderne Hörgeräteanpassung. Bei den Entwicklungen der neuen Sprachtests wurden viele Nachteile des Freiburger Einsilbertests berücksichtigt und im neuen Design weggelassen.

Der deutschsprachige Teil der Schweiz setzt neben traditionellen Sprachtests den Basler Satztest zur „globalen Überprüfung der Hörgeräteanpassung“ ein und bewies so den Mut zur Qualitätsverbesserung in der Hörgeräteakustik. Der Basler Satztest bietet gegenüber dem Freiburger Einsilbertest den Vorteil, dass es sich um einen Satztest im Störgeräusch handelt. Bei jedem Satz des Basler Satztests wurde das Störgeräusch durch eine 32-fache Überlagerung der Sprecherstimme individuell an jeden Satz angepasst. Er verfügt somit über ein geeignetes Störgeräusch, während bei der Messung des Freiburger Einsilbertests ein Standardrauschen benutzt wird. Zudem besitzt dieses Messverfahren einen hohen Bekanntheitsgrad bei den HNO-Ärzten und den Hörgeräteakustikern der Schweiz. Der Basler Satztest benötigt für seine Durchführung nur eine geringe Messdauer, aber dem Anwender stehen nur 10 Satzlisten zur Verfügung, was eine vergleichende Anpassung von Hörgeräten schwierig gestalten lässt. Der Basler Satztest erwies sich für hochgradig Schwerhörige als ungeeignetes Messverfahren und er ist auch nur in deutscher Sprache erhältlich.

Während der Satzdarbietung läuft das Störgeräusch synchron mit und macht beim letzten Wort einen Pegelsprung von 10 dB. Der Patient muss nun den Satz um das letzte einsilbige Schlusswort ergänzen. Da der Patient nicht den ganzen Satz verstehen muss, sondern nur das letzte Wort ausgewertet wird, handelt es sich eigentlich beim Basler Satztest um einen Worttest. Durch diesen Umstand und auch wegen des Lautstärkeanstiegs des Störgeräusches, wird die Nachbildung einer natürlichen Kommunikationsumgebung nicht erreicht.

Anders sieht es bei der Messung des Oldenburger Satztests aus. Bei diesem Sprachtestverfahren werden dem Patienten ganze Sätze dargeboten und der Patient muss auch nach Möglichkeit den kompletten Satz wiederholen. Somit wird eine Annäherung an eine natürliche Kommunikationssituation besser erreicht. Der Oldenburger Satztest zeichnet sich durch ein geeignetes Störgeräusch und durch eine steile Diskriminationsfunktion aus. Die Messergebnisse fielen genauer als beim Basler Satztest aus, da die 20 letzten Patientenantworten gemittelt werden. Dadurch fällt allerdings die Messdauer erheblich länger aus. Der Lerneffekt bei der Wiederholungsmessung fiel beim Oldenburger Satztest geringer aus als es beim Basler Satztest der Fall war. Der Oldenburger Satztest eignet sich auch für hochgradige Hörverluste sowie für Cochlea-Implantat-Träger. Durch die Trainingsmessungen kennt der Patient alle im Satztest vorkommenden Wörter. Momentan wird an der Entwicklung des Oldenburger Satztests in anderen europäischen Sprachen gearbeitet. Wegen der vielen Vorteile des Oldenburger Satztests sollte darüber nachgedacht werden, ob dieses Messverfahren sich nicht als neuer Nachfolger des Freiburger Satztests in der Praxis etablieren könnte. Als Nachteile des Oldenburger Satztests erwiesen sich aus Patientensicht das permanent, mitlaufende Störgeräusch und die zum Teil wenig sinnvollen Sätze.

Sollte sich eines der beiden vorgestellten Satztestverfahren als geeignetes Messverfahren für die Praxis erweisen, so sollte die Darbietungsweise von Sprach- und Störgeräuschsignal nicht ausser Acht gelassen werden. In dieser Diplomarbeit wurden vier verschiedene Lautsprecherkonfigurationen untersucht. Es stellte sich heraus, dass zum Teil große Unterschiede zwischen den einzelnen Lautsprecherkonfigurationen bestanden. So kann zusammenfassend gesagt werden, dass sich die Lautsprecherkonfiguration 4 in der vorliegenden Arbeit bewährt hat, da diese Messanordnung eine unkorrelierte und realitätsnahe Rauschdarbietung zulässt. Bei einer Umsetzung in die Praxis sollten daher Lautsprecheranordnungen, die keine ausreichende Überprüfung von modernen Hörgeräten bieten, vermieden werden. Nur so kann dem Patienten ein Klangeindruck vermittelt werden, der einer natürlichen Hörsituation nahe kommt.

Ausserdem sollte überlegt werden, wie zusätzliche Messverfahren Eingang in eine standardisierte Praxis finden könnten. Solche Messverfahren könnten Fragebogeninventare, Lautheitsskalierungen, das Real-Life-Fitting und auch die Messung der Höranstrengung darstellen.

Die Messung der Höranstrengung wurde von den Probanden dieser Diplomarbeit sehr gut akzeptiert. Dieses Messverfahren ist nicht zeitaufwendig und bietet dem Patienten die Möglichkeit sich aktiv in den Prozess der Hörgeräteanpassung einzubringen. Mithilfe dieses Messverfahrens könnten Vorbehalte gegenüber Hörgeräten abgebaut werden und der Patient kann selbst erleben, worin der Unterschied zwischen verschiedenen Hörgeräten besteht. Aber das wichtigste, was der Hörgeräteakustiker aus der Messung der Höranstrengung ziehen kann ist, dass die subjektive Komponente des Patienten Berücksichtigung in seiner Hörgeräteanpassung findet.

Zudem müssten sich Hörgeräteakustiker und HNO-Ärzte darüber im Klaren sein, dass eine qualitativ hochwertige Hörgeräteüberprüfung nur durch eine umfangreiche Dokumentation realisierbar ist. Bei der Überprüfung von Hörgeräten müssen bei den Hörgeräteakustikern und den HNO-Ärzten die gleichen technischen Einrichtungen vorhanden sein, um vergleichbare Messergebnisse zu erzielen. Aus den Anpassberichten der Hörgeräteakustiker sollte klar hervorgehen, welche Hörgeräteeinstellungen mit welchem Messverfahren und in welcher Lautsprecherkonfiguration überprüft wurde. Auch im Überprüfungsprotokoll des HNO-Arztes sollten diese Angaben vermerkt werden.

Die in dieser Diplomarbeit untersuchten Messverfahren und deren Überprüfung bei verschiedenen Lautsprecherkonfigurationen, wären ein möglicher Lösungsansatz, um in der Hörgeräteanpassung zu verlässlicheren Messergebnissen zu gelangen.

Bevor es aber zu einer Umsetzung in die Praxis kommt, sollten noch weitere Untersuchungen stattfinden. So sollte die Messung des Oldenburger Satztests und der Höranstrengung in Lautsprecherkonfiguration 4 mit verschiedenen Hörgeräteeinstellungen untersucht werden. Untersuchungen mit einem Dolby Surround System wären möglicherweise sinnvoll, um die Hörgeräteanpassung noch realitätsnäher gestalten zu können.

Wegen der bekannten und noch bestehenden Mängel in der Hörgeräteanpassung wäre es wünschenswert, dass sich so schnell als möglich ein neuer Standard durchsetzt, der die erforderliche Qualität der Hörgeräteanpassung gewährleistet.

## 7 Anhang

### 7.1 Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1-1:</b>	<i>Hörverlust in Abhängigkeit mit dem Alter, unterteilt nach Geschlecht [9].</i>	5
<b>Abb. 2-1:</b>	<i>Die drei Beeinträchtigungen, die in der schweizerischen Hörgeräteanpassung Berücksichtigung finden [11].</i>	7
<b>Abb. 2-2:</b>	<i>Diskriminationsfunktionen für verschiedene Sprachtestverfahren [3].</i>	11
<b>Abb. 2-3:</b>	<i>Zusammenhang und Abhängigkeit zwischen Höranstrengung und Sprachverständlichkeit [21].</i>	15
<b>Abb. 3-1:</b>	<i>Hörverlustbereich.</i>	18
<b>Abb. 3-2:</b>	<i>Benutzeroberfläche in Macarena bei der OLSA-Messung.</i>	23
<b>Abb. 3-3:</b>	<i>Benutzeroberfläche in Matlab bei Messung der Höranstrengung.</i>	26
<b>Abb. 3-4:</b>	<i>Messanordnung im Audiometrierraum.</i>	27
<b>Abb. 3-5:</b>	<i>Ansteuerung der Lautsprecher bei Satztestmessungen.</i>	28
<b>Abb. 3-6:</b>	<i>Ansteuerung der Lautsprecher bei der Höranstrengung.</i>	29
<b>Abb. 3-7:</b>	<i>Messanordnung 1.</i>	30
<b>Abb. 3-8:</b>	<i>Messanordnung 2.</i>	30
<b>Abb. 3-9:</b>	<i>Messanordnung 3.</i>	30
<b>Abb. 3-10:</b>	<i>Messanordnung 4.</i>	30
<b>Abb. 4-1:</b>	<i>Messraum mit Messaufbau.</i>	38
<b>Abb. 5-1:</b>	<i>Gemittelte Hörschwellen aller Normalhörenden.</i>	40
<b>Abb. 5-2:</b>	<i>Auswertung des OLSAs und Basler Satztests.</i>	42
<b>Abb. 5-3:</b>	<i>Auswertung des OLSAs und Basler Satztests im Retest.</i>	43
<b>Abb. 5-4:</b>	<i>Verhältnisdiagramm für die OLSA-Messung.</i>	44
<b>Abb. 5-5:</b>	<i>Differenzdiagramm für die OLSA-Messung.</i>	45
<b>Abb. 5-6:</b>	<i>Verhältnisdiagramm für den Basler Satztest.</i>	46
<b>Abb. 5-7:</b>	<i>Differenzdiagramm für die Basler Satztest-Messung.</i>	47
<b>Abb. 5-8:</b>	<i>Auswertung der Fragebögen zu den Satztests.</i>	49
<b>Abb. 5-9:</b>	<i>Auswertung der Höranstrengung.</i>	50
<b>Abb. 5-10:</b>	<i>Auswertung der Höranstrengung im Retest.</i>	51
<b>Abb. 5-11:</b>	<i>Verhältnisdiagramm für die Höranstrengung.</i>	52
<b>Abb. 5-12:</b>	<i>Auswertung der Fragebögen zur Höranstrengung.</i>	54
<b>Abb. 5-13:</b>	<i>Mittelwert mit Standardabweichungen aller Tonaudiogramme der Hörgeräteträger.</i>	56
<b>Abb. 5-14:</b>	<i>Auswertung des OLSAs und Basler Satztests.</i>	57
<b>Abb. 5-15:</b>	<i>Verhältnisdiagramm OLSA und Basler Satztest.</i>	59
<b>Abb. 5-16:</b>	<i>Verhältnisdiagramm OLSA und Basler Satztest.</i>	60
<b>Abb. 5-17:</b>	<i>Verhältnisdiagramm OLSA und Basler Satztest.</i>	61
<b>Abb. 5-18:</b>	<i>Auswertung der Fragebögen zu den Satztests.</i>	63
<b>Abb. 5-19:</b>	<i>Auswertung der Höranstrengung.</i>	65
<b>Abb. 5-20:</b>	<i>Auswertung der Fragebögen zur Höranstrengung.</i>	67

## 7.2 Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 2-1:</b>	<i>Übersicht der Sprachtestverfahren</i> .....	13
<b>Tab. 3-1:</b>	<i>Pegeladaption beim OLSA [18]</i> .....	22
<b>Tab. 3-2:</b>	<i>Pegeladaption beim Basler Satztest [22]</i> .....	22
<b>Tab. 3-3:</b>	<i>Reihenfolge der OLSA-Sätze</i> .....	25

### 7.3 Quellennachweis

- [1] Levitt H., Noise reduction in hearing aids: a review. Journal of Rehabilitation Research and Development 2001; 38: 111-121.
- [2] Jekosch U., Verfahren zur Bestimmung der Verständlichkeit akustisch realisierter Sprache. Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie, Kollmeier B. (Hrsg), Buchreihe Audiologische Akustik, Bd. 1 Median-Verlag Heidelberg 1992; ISBN 3-922766-15-3, S. 196-215
- [3] medi.uni-oldenburg; VI.Sprachwahrnehmung und Sprachaudiometrie [http://www.medi.uni-oldenburg.de/download/docs/lehre/kollm\\_audiologie/audio6.pdf](http://www.medi.uni-oldenburg.de/download/docs/lehre/kollm_audiologie/audio6.pdf); S.164-168
- [4] Meister H., Lausberg I., von Wedel H., Walger M., Untersuchung von Faktoren bei der Erstversorgung mit Hörgeräten. HNO, Springer-Verlag 2004; 52: 790-797
- [5] MDR.DE; Wieder gut Hören. 2007 <http://www.mdr.de/hier-ab-vier/natuerlich-gesund/4175832.html>
- [6] Forum Besser Hören; Wenn man das Hören verlernt hat – Hörtraining mit digitalen Hörgeräten <http://www.forumbesserhoeren.de/index.php?id=172>
- [7] Hesse G., Hörgeräte im Alter – Warum ist die Versorgung so schwierig? HNO, Springer-Verlag 2004; 52: 321-328
- [8] Lehnhardt E., Laszig R., Praxis der Audiometrie. Georg Thieme Verlag 2001; 8: ISBN 3-13-369008-6, S. 55
- [9] CD-ROM „Understanding“. Danish Information Center in cooperation with Widex, Oticon, GN ReSound
- [10] Schwob Chr., Real-Life-Fitting: Hörgeräteanpassung in realen Situationen. Z Audiol 2003; 42 (4): 178-184
- [11] Tschopp K., Wertigkeit der Sprachaudiometrie in der Begutachtung. 7. DGA Jahrestagung 2004

- [12] von Wedel H., Fehlermöglichkeiten in der Ton- und Sprachaudiometrie. HNO, Springer-Verlag 2001; 49: 939-959
- [13] Schorn K., Hörgeräteüberprüfung in der Praxis. HNO, Springer Medizin Verlag 2004; 52: 875-885
- [14] Ricketts T., Impact of noise source configuration on directional hearing aid benefit and performance. Ear Hear 2000; 21 (3): 194-205
- [15] Compton-Conley C., Neuman A., Killion M., Levitt H., Performance of directional microphones for hearing aids: Real-world versus simulation. J Am Acad Audiol 2004; 15: 440-455
- [16] Scherg M., Sprachverstehen im Störlärm mit dem HSM-Satztest in der Computerversion bei den 30 schlechter hörenden Probanden einer Gruppe von 60 Normalhörenden. Dissertation Universität Würzburg 2004
- [17] Lehnhardt E., Laszig R., Praxis der Audiometrie. Georg Thieme Verlag 2001; 8: ISBN 3-13-369008-6, S. 175-178
- [18] HörTech gGmbH, Oldenburger Satztest – Handbuch und Hintergrundwissen. HörTech 2000; Rev. 00.1, 2006/05/30
- [19] Wagener K., Kühnel V., Kollmeier B., Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. Z Audiol 1999a; 38 (1): 4-15
- [20] Drullman R., D-7-1: Speech recognition tests for different languages. FP6-004171 HEARCOM 2005; Vers. 2.0
- [21] Schulte M., D-7-4: Report tests for listening effort. FP6-004171 HEARCOM 2007; Vers. 1.0
- [22] Der Basler Satztest – Testanleitung 1999
- [23] Tschopp K., Schilinger C., Schmid N., Jordan P., Berechnung des Hörverlustes mit dem Basler Satztest. Z Audiol 2001; 40 (2): 86-92
- [24] BIAP (Bureau International d'AudioPhonologie); Empfehlung 02/1: Technische Ausrüstung für die Hörgeräteanpassung <http://www.biap.org/biapallemand/Rec06-2all.htm>

- [25] Rechenzentrum Universität Osnabrück, Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows.  
[http://www.rz.uniosnabrueck.de/Zum\\_Nachlesen/Skripte\\_Tutorials/SPSS\\_Fuer\\_Windows/pdf/spss.pdf](http://www.rz.uniosnabrueck.de/Zum_Nachlesen/Skripte_Tutorials/SPSS_Fuer_Windows/pdf/spss.pdf)
- [26] Bortz, J., Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1999; ISBN 3-540-65088-1, S. 260,746

#### 7.4 Verwendete Hardware und Software

Bezeichnung	Hersteller	Typ
PC	HP	HP dc 7700 CMT Base Unit ALL Unit Intel Core 2 Duo Windows 2000
Monitor	miro ComputerProducts AG	miro C2193 color graphic display
Mischpult	LTO	S-8 (8-channel mixing console)
Lautsprecher	Genelec	Genelec active monitor 1029A
Touchscreen	ELO Touchsystems	
Pegelmesser	Norsonic	118
Otoskop	Heine	Mini 3000 FO
Audiometer	Madsen Electronics	OB 822 Clinical Audiometer
Software	Microsoft	Office 2003
Software	ORL-LEA USZ	Macarena June 2007
Software	Adobe	Audition 1.5
Software	MathWorks Inc.	Matlab 7.1.0.246 (R14) Service Pack 3
Software	SPSS Inc.	SPSS 14.0

## 7.5 Einweisungsformulare für die Probandeninstruktion

### Oldenburger Satztest

#### Einweisung:

Dies ist ein Test, um festzustellen, wie gut Sie Sprache in geräuschvoller Umgebung verstehen können.

Hierzu werden Ihnen Sätze dargeboten, die von einer männlichen Stimme gesprochen werden.

Jeder Satz besteht aus 5 Wörtern der Struktur: Name Verb Zahl Adjektiv Objekt.  
(z.B. Ulrich schenkt sieben schwere Sessel.)

Die Sätze sind nicht unbedingt sinnvoll. Zusätzlich zu der Sprache wird ein Rauschen dargeboten.

Bitte wiederholen Sie nach der Darbietung den Satz oder jedes Wort, welches Sie verstanden haben. Wenn Sie unsicher sind, dürfen Sie gerne auch raten.

Während der Messung wird die Sprache in der Lautstärke verändert. Sie kann dadurch teilweise sehr leise sein. Lassen Sie sich dadurch bitte nicht entmutigen. Für die Aussagekraft der Messung ist es wichtig, diese Messung unter schwierigen Bedingungen durchzuführen.

Haben Sie noch Fragen?

## **Basler Satztest**

### **Einweisung:**

Dies ist ein Test, um feststellen, wie gut Sie Sprache in geräuschvoller Umgebung verstehen können.

Hierzu werden Ihnen Sätze dargeboten, die je zur Hälfte von einer männlichen und einer weiblichen Stimme gesprochen werden.

Jeder Satz hat eine Länge von 5-9 Silben und das Schlusswort ist immer ein einsilbiges Substantiv.

Zusätzlich zu der Sprache wird ein Rauschen dargeboten, das beim Schlusswort lauter wird.

Bitte wiederholen Sie nach der Darbietung den Satz oder jedes Wort, welches Sie verstanden haben. Wenn Sie unsicher sind, dürfen Sie gerne auch raten.

Während der Messung wird die Sprache in ihrer Lautstärke verändert. Sie kann dadurch teilweise sehr leise sein. Lassen Sie sich dadurch bitte nicht entmutigen. Für die Aussagekraft der Messung ist es wichtig, diese Messung unter schwierigen Bedingungen durchzuführen.

Haben Sie noch Fragen?

## Listening Effort

### Einweisung:

Mit diesem Test will man herausfinden, wie anstrengend unterschiedliche Störgeräuschsituationen für Ihr Sprachverstehen sind. Nicht jede Hörsituation ist gleich anstrengend wie eine andere.

Hierzu werden Ihnen wieder mehrere Sätze aus dem ersten Satztest vorgespielt, die Sie aber diesmal nicht nachsprechen brauchen. Zusätzlich wird ein kontinuierliches Störgeräusch dargeboten.

Bitte hören Sie sich die Sätze gut an und bewerten dann diese auf dem Bildschirm.

Dazu drücken Sie bitte die entsprechende Taste auf der Skala, die von „extrem leicht“ bis „extrem schwierig“ reicht. Lassen Sie sich für Ihre Bewertung ausreichend Zeit.

Dabei steht „extrem leicht“ für alles verstanden und „extrem schwierig“ für gar nichts verstanden.

Sie können die Darbietung der Sätze auch mit der STOP-Taste unterbrechen oder die Sätze mit der Wiederholungs-Taste wiederholen lassen.

Der Test besteht aus neun Folgen von Satzdarbietungen. Jede Folge wird mit einer anderen Lautstärke dargeboten. Bewerten Sie bitte, wie anstrengend es ist, die Sätze zu verstehen, ohne dass Sie dabei auf die Lautstärke der Sätze achten.

Haben Sie noch Fragen?

## 7.6 Formular für die Anamnese

Persönliches:	
Name:	
Geburtsdatum:	M <input type="checkbox"/> W <input type="checkbox"/> USZ:
Hörgeräte:	HdO <input type="checkbox"/> offen <input type="checkbox"/> IdO <input type="checkbox"/>
Berufstätig ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	Beruf:
Telefon:	Telefax:
E-Mail:	Sonstiges:
Medizinischer Hintergrund:	
Seid wann besteht die Sschwerhörigkeit?	
Welches ist das bessere Ohr?	
Operationen am Ohr?	
Erkrankungen am Ohr?	
Hat sich Ihr Hörvermögen in letzter Zeit verändert?	
Fragen zur Hörgeräte-Versorgung:	
Seit wann tragen Sie die Hörgeräte?	
Haben schon vorher Hörgeräte getragen?	
Wie häufig werden die Hörgeräte getragen?	
Sind Sie zufrieden mit Ihren Hörgeräte?	
In welchen Situationen haben Sie Verständlichkeitsprobleme?	

## 7.7 Fragebogen nach den Satztests

Im folgenden sehen Sie eine Reihe von Fragen. Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile ein Kästchen an, das am ehesten Ihrem Eindruck entspricht!

	sehr gering	gering	mittel	stark	sehr stark
1. Wie anstrengend war für Sie die Durchführung der Satztests?	<input type="checkbox"/>				
2. Sind solche Satztests realistisch für Sie, spiegeln die Satztests natürliche Situationen wider?	<input type="checkbox"/>				
3. Könnte Ihrer Meinung nach die Hörgeräteanpassung mithilfe der Satztests qualitativ verbessert werden?	<input type="checkbox"/>				
4. Haben die verschiedenen Lautsprecheranordnungen Sie in Ihrer Konzentration gestört?	<input type="checkbox"/>				
	zu lang	lang	mittel	kurz	zu kurz
5. Wie empfanden Sie insgesamt die Länge der Satztests? Könnte der Hörgeräteakustiker einen dieser Satztests in seiner Praxis einsetzen?	<input type="checkbox"/>				

6. Welchen Satztest empfanden Sie als anstrengender?

Den ersten Satztest

Den zweiten Satztest

Gründe für die Bewertung:

---



---

Anmerkungen:

---



---

## 7.8 Fragebogen nach der Höranstrengung

Im folgenden sehen Sie eine Reihe von Fragen. Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile ein Kästchen an, das am ehesten Ihrem Eindruck entspricht!

	sehr gering	gering	mittel	stark	sehr stark
1. Wie empfanden Sie die eigene Anstrengung während des Tests?	<input type="checkbox"/>				
2. Kann dieser Test die Qualität der Hörgeräteanpassung verbessern? Wie ist Ihr eigener Eindruck?	<input type="checkbox"/>				
	sehr einfach	einfach	mittel	schwer	sehr schwer
3. Wie empfanden Sie die Bedienung/Handhabung des Tests? Ist die Handhabung einfach oder schwer?	<input type="checkbox"/>				
	zu lang	lang	mittel	kurz	zu kurz
4. Wie beurteilen Sie die Messdauer des Tests? Dauert der Test zu lange oder ist der Test vielleicht zu kurz?	<input type="checkbox"/>				

	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
5. Welche Lautsprecherposition empfanden Sie am angenehmsten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. Hat Ihnen die hochdeutsche Sprache der Satztests Schwierigkeiten bereitet?

Ja

Nein

Anmerkungen:

---



---

## 7.9 Messergebnisse der Satztests der Normalhörenden

Satztests Normalhörende								
Messanordnung	Testverfahren	V2 SW	V3 MM	V4 RH	V5 MB	V6 ML	$\mu$	$\sigma$
		SRT in dB						
S/N 0°	OLSA	-5.8	-6.7	-7.5	-10.5	-8.5	-7.72	1.83
	BASA	1.6	3.2	-2.0	-5.2	-1.2	-0.72	3.27
S 45°/ N -45°	OLSA	-12.9	-13.2	-12.5	-15.7	-13.2	-13.5	1.26
	BASA	-9.6	-8.4	-8.4	-13.2	-8.8	-9.68	2.03
S -45°/ N 45°	OLSA	-12.9	-13.7	-13.7	-15.1	-14.4	-13.96	0.83
	BASA	-8.0	-8.8	-7.6	-10.8	-6.0	-8.24	1.76
S 0°/ N 90/180/270°	OLSA	-7.0	-9.1	-7.5	-10.3	-8.2	-8.42	1.31
	BASA	0	-3.2	-3.6	-6.0	-5.2	-3.6	2.32

Satztests Normalhörende Wiederholung								
Messanordnung	Testverfahren	V1 MM	V2 SW	V4 MB	V5 RH	V6 ML	$\mu$	$\sigma$
		SRT in dB						
S/N 0°	OLSA	-9.3	-7.0	-11.2	-9.2	-9.3	-9.2	1.49
	BASA	2.4	-3.6	-3.6	-2.4	-4.8	-2.4	2.81
S 45°/ N -45°	OLSA	-14.0	-13.6	-15.9	-14.0	-14.6	-14.42	0.90
	BASA	-10.0	-13.2	-11.6	-8.4	-8.4	-10.32	2.09
S -45°/ N 45°	OLSA	-15.7	-12.6	-15.7	-13.9	-13.6	-14.3	1.37
	BASA	-12.0	-10.4	-11.2	-11.6	-12.0	-11.44	0.67
S 0°/ N 90/180/270°	OLSA	-8.0	-9.1	-10.2	-7.5	-8.4	-9.54	1.61
	BASA	-7.2	-5.6	-6.8	-6.0	-6.4	-6.4	0.63

$\mu$  = Mittelwert

$\sigma$  = Standardabweichung

## 7.10 Messergebnisse der Höranstrengung der Normalhörenden

Listening Effort Normalhörende												
Proband	Messanordnung	SNR -21	SNR -18	SNR -15	SNR -12	SNR -9	SNR -6	SNR -3	SNR 0	SNR 3	SNR 6	SNR 9
SW	1				6.8		1.6		1			
	2		7		5		1					
	3		7		2.6		1					
	4				7		4		1			
MM	1				7		5		3.2			
	2		6.8		5.6		4.4					
	3		6.6		5		3.2					
	4			7		5.8		4				
RH	2		6.8		5.4		3.0					
	3		7		5.4		3.2					
	1				7		4.8		1.8			
	4				6.8		5.4		2.6			
MB	3		6.4		4		2.6					
	1			7		5.2		2.6				
	4			7		5.6		3.6				
	2		6.4		4.6		2.4					
ML	4			7		5		1.8				
	2		7		4.8		1					
	1			7		4.4		1				
	3		7		2.8		1					
<b>Wiederholung</b>												
MM	3			5.6		4.6		3.6				
	2			5.8		4.6		3				
	4			7		6		4.8				
	1			7		6		4.6				
SW	4				5.8		1.4		1			
	2		7		4.8		3					
	1				7		3.6		1			
	3		7		5.6		1					
MB	1		7		6		4.4					
	3	6.4		4.6		3						
	2	6.4		4.8		3						
	4		6.4		4.8		2.2					
RH	3		6.8		4.6		2.4					
	1			7		5.6		3.6				
	4				6.8		4.4		1.8			
	2		7		5.4		3.6					
ML	2	7		4.2		1						
	3	7		2.8		1						
	1			7		4.4		1				
	4			7		5.9		1				

## 7.11 Messergebnisse der Satztests der Hörgeräteträger

Satztests Schwerhörige						
Messanordnung	Testverfahren	V1 AP	V2 WL	V3 RGU	V4 EA	V5 HRW
		SRT in dB				
S/N 0°	OLSA	-5.4	-2.2	-2.4	-3.5	-5.8
	BASA	2.8	8.4	4.4	2.8	0.8
S 45°/ N -45°	OLSA	-11.8	-5.2	-2.4	-7.0	-9.1
	BASA	-6.4	-6.4	1.2	2.0	-6.8
S -45°/ N 45°	OLSA	-12.8	-6.0	-5.9	-4.5	-8.9
	BASA	-1.6	-1.6	5.2	1.6	-6.4
S 0°/ N 90/180/270°	OLSA	-4.8	-2.8	-2.1	-6.0	-5.2
	BASA	-2.8	2.4	8.4	1.2	-4.4

Satztests Schwerhörige						
Messanordnung	Testverfahren	V6 BS	V7 AA	V8 WA	V9 HJG	V10 VBM
		SRT in dB				
S/N 0°	OLSA	-7.7	-4.1	-5.7	-3.0	-1.8
	BASA	-0.4	5.2	0.8	2.8	3.6
S 45°/ N -45°	OLSA	-12.2	-5.3	-9.4	-7.4	-5.2
	BASA	-6.8	5.2	-2.0	-3.2	3.6
S -45°/ N 45°	OLSA	-12.1	-6.5	-7.8	-7.2	-5.6
	BASA	-6.8	-1.6	-1.2	1.6	-2.0
S 0°/ N 90/180/270°	OLSA	-6.2	-2.6	-8.3	-6.3	-3.0
	BASA	-3.6	2.8	2.0	1.2	6.4

Satztests Schwerhörige						
Messanordnung	Testverfahren	V11 EK	V12 TB	V13 GG	V14 KZ	V15 ESch
		SRT in dB				
S/N 0°	OLSA	-5.0	-4.0	-4.8	-3.3	-3.9
	BASA	4.4	3.2	2.8	0.4	2.8
S 45°/ N -45°	OLSA	-6.8	-8.1	-8.4	-5.8	-7.3
	BASA	-2.4	-0.4	-1.6	-1.2	-2.0
S -45°/ N 45°	OLSA	-8.2	-3.5	-8.6	-5.3	-6.2
	BASA	-0.8	4.0	-1.2	2.4	2.8
S 0°/ N 90/180/270°	OLSA	-2.0	-5.8	-2.0	-3.0	-4.0
	BASA	1.2	1.2	1.6	0	0

Satztests Schwerhörige								
Messanordnung	Testverfahren	V16 MLW	V17 KR	V18 CB	V19 RLS	V20 BRM	$\mu$	$\sigma$
		SRT in dB						
S/N 0°	OLSA	-5.3	-4.6	-6.7	-6.6	-4.7	-4.53	1.57
	BASA	4.4	6.4	1.2	2.4	7.2	3.44	2.32
S 45°/ N -45°	OLSA	-7.7	-5.0	-10.9	-9.9	-3.8	-7.44	2.62
	BASA	-3.2	2.0	-5.6	-5.6	4.4	-1.18	3.99
S -45°/ N 45°	OLSA	-10.0	-6.2	-11.6	-9.4	-6.2	-7.64	2.55
	BASA	-1.2	4.0	-8.0	-2.8	-0.8	-0.72	3.58
S 0°/ N 90/180/270°	OLSA	-4.4	-4.2	-6.8	-6.4	-2.0	-4.4	1.91
	BASA	-5.2	-0.4	-0.4	1.6	-1.2	0.88	3.91

$\mu$  = Mittelwert

$\sigma$  = Standardabweichung

## 7.12 Messergebnisse der Höranstrengung der Hörgeräteträger

Listening Effort Schwerhörige												
Proband	Messanordnung	SNR -21	SNR -18	SNR -15	SNR -12	SNR -9	SNR -6	SNR -3	SNR 0	SNR 3	SNR 6	SNR 9
AP	1				5		5.6		3.6			
	2		7		5.4		4.4					
	3		7		5.8		4.4					
	4				6.8		5.6		4			
WL	2				5.6		3.6		2.2			
	1					5.6		4		1.8		
	4					4.8		3.4		1.8		
	3				5.4		4		2.4			
RG-U	3					4.2		3		2.2		
	2					4.4		3.4		2.2		
	4					5.4		4		2.6		
	1					6.2		4		2.4		
EA	4				5.6		4		2.6			
	3					5.2		3		1.8		
	2				5.8		4		2.2			
	1					5.8		4		2.2		
H-RW	3			4.8		2.8		1.8				
	2			5		3.8		2.4				
	4				5.2		3.8		2			
	1				5.2		3.6		2.6			
AA	1					6.2		3.8		3.2		
	2				6.6		4		2.2			
	4					6.6		2.8		1		
	3				5.8		1.6		1			
WA	4			7		5.2		3.8				
	2			7		5		3.2				
	3			6.8		4.2		3.2				
	1				7		5.4		2.8			
BS	3				5.2		4.6		3.8			
	1				6.4		5.4		4.4			
	4				6.4		5.2		4.6			
	2				4.8		4		3			
HJG	1					6.2		4.4		3.4		
	4				6		3.8		3			
	2				5.2		4		3.4			
	3				5.4		4		3.4			
VB-M	4						6.8		6.6		4.4	
	3						7		5		3.6	
	2						7		6		3.4	
	1						7		6.6		4.2	

Listening Effort Schwerhörige												
Proband	Messanordnung	SNR -21	SNR -18	SNR -15	SNR -12	SNR -9	SNR -6	SNR -3	SNR 0	SNR 3	SNR 6	SNR 9
EK	2				5.6		4		2.2			
	3				4.8		3.2		1.4			
	4					6		4		1.4		
	1				6.6		4.8		1.2			
TB	1					5.8		3.6		1.2		
	3					5.2		3.8		2.8		
	2				5		3.6		2			
	4					5.6		4.2		2.8		
GG	2				5.2		3.6		1.2			
	1					6.0		4.2		1.3		
	4					5.8		4.8		2.4		
	3				6.4		4.4		1.6			
KZ	3				6		4.2		2			
	2				7		4.6		2.6			
	4					6.8		4.2		2		
	1					6.4		3.8		1.8		
ESch	4					5.8		4.4		3.6		
	2				5.6		4.4		3.2			
	1					6.4		3.8		2.4		
	3				6.6		4.2		3			
MLW	1				6.8		3.8		1.2			
	4				7		5.4		1.2			
	2			6.6		4.6		2.6				
	3			6.4		2.6		1.2				
KR	4					4		1		1		
	3				4.8		1.8		1			
	2				5.4		3.4		1			
	1				7		4.4		1.4			
CB	2		7		6		1.8					
	4				7		4.8		1.1			
	3		7		4		1.8					
	1				7		4.8		1			
RLS	2			5.8		4		2.4				
	3			5.6		4		1.8				
	1				7		4		1.4			
	4				6.6		4.4		2.2			
BRM	3				6.2		4.8		3.4			
	2					6		5		3.4		
	1				7		5.8		3.6			
	4					6.2		4.8		3.4		