

# AUDIOLOGISCHE MESSVERFAHREN FÜR DIE HÖRGERÄTE-INDUSTRIE

Birgitta Gabriel<sup>†</sup>, Stephan Albani<sup>†</sup>, Volker Hohmann<sup>\*</sup>, Birger Kollmeier<sup>\*</sup>, Markus Meis<sup>#</sup>

<sup>†</sup>Hörzentrum Oldenburg, <sup>\*</sup>AG Medizinische Physik, <sup>#</sup>Institut zur Erforschung von Mensch-Umwelt-Beziehungen (MUB), Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg

E-Mail: B.Gabriel@Hoerzentrum-Oldenburg.de

## Einleitung

Die „Evaluation von Hörgeräten“ im Auftrag der Hörgeräte-Industrie ist ein wesentliches Teilgebiet im Arbeitsbereich „Forschung und Entwicklung“ des 1996 gegründeten Hörzentrums Oldenburg. Hier wird die Leistungsfähigkeit von Hörgeräten vor, während oder nach der Markteinführung geprüft. Dazu werden z.B. Meßverfahren eingesetzt, die im Rahmen eines BMBF-Projektes zur Sprachaudiometrie und computergesteuerten audiologischen Meßverfahren an der Universität Oldenburg im Verbund mit 5 verschiedenen HNO-Kliniken entwickelt worden sind. Für bestimmte Anforderungen der Hörgeräte-Industrie entwickelt auch das Hörzentrum geeignete Meßverfahren. In diesem Beitrag werden verschiedene Meßverfahren kurz dargestellt. Weitere Informationen finden sich z.B. in Gabriel et al. (1999).

## „Oldenburger Rundgang“

Hörgeräte werden aufgrund des Tonaudiogramms oder einer Lautheitsskalierung gemäß einer Anpaßregel individuell für den Schwerhörigen voreingestellt. Diese Voreinstellung soll bereits zu einer möglichst hohen spontanen Akzeptanz bei dem Hörgeräteträger führen ohne daß eine aufwendige Feinanpassung durchgeführt werden muß. Die Voreinstellung eines Hörgerätes wird bei dem „Oldenburger Rundgang“ getestet. Der Schwerhörige testet und beurteilt in Begleitung der Versuchsleitung die voreingestellten Hörgeräte in den verschiedenen akustischen Situationen „Im Freien“, „In der Cafeteria“, „In Ruhe“ und bei „Musik“. Mit Hilfe eines Fragebogens wird in jeder Situation die subjektiv empfundene Lautstärke, das subjektive Sprachverstehen und der Klangeindruck für mehrere Klangdimensionen abgefragt sowie der Gesamteindruck. Zusätzlich kann die Kaufwahrscheinlichkeit oder die Handhabung der Hörgeräte abgefragt werden.

## Kategoriale Lautheitsskalierung

Mit der kategorialen Lautheitsskalierung wird die individuelle Lautheitswahrnehmung im Restdynamikbereich des Schwerhörigen gemessen (z.B. Kollmeier, 1997). Bei der schmalbandigen Lautheitsskalierung wird terzbreites Rauschen bei verschiedenen Mittenfrequenzen dargeboten. Im Falle der breitbandigen Lautheitsskalierung kann als Stimulus z.B. sprachsimulierendes Rauschen oder auch aufgezeichnete, natürliche Sprache verwendet werden. Nach Darbietung des (Rausch)Signals gibt der Proband die empfundene Lautstärke auf einer 11-stufigen Skala mit den verbalen Kategorien „unhörbar“, „sehr leise“, „leise“, „mittel“, „sehr laut“ und „zu laut“ (sowie 5 Zwischenstufen) wieder. Das Hörzentrum Oldenburg setzt überwiegend die adaptive, kategoriale Lautheitsskalierung ein (Brand, 2000). Das adaptive Meßverfahren ist bei gleicher Meßzeit effizienter als das konstante Meßverfahren (Hohmann und Kollmeier, 1995), da die Pegel-darbietung entsprechend den Antworten des Probanden gesteuert wird. Ein Vergleich zwischen den mittleren Daten Normalhörender und den individuellen Ergebnissen eines unversorgten Schwerhörigen erlaubt eine Schätzung der bei verschiedenen Frequenzen notwendigen Kompression des anzupassenden Hörgerätes. Der Vergleich zwischen den mittleren Daten Normalhörender und einer versorgten Hörflächenskalierung zeigt die Güte einer Hörgeräteeinpassung in Hinblick auf einen Lautheitsausgleich.

## Adaptiver Satztest

Die häufigste Klage von (Innenohr-) Schwerhörigen ist, daß sie unter Umgebungslärm nichts mehr verstehen können. Mit der Standard-Audiometrie können diese Beschwerden nicht objektiviert werden, da der ton- und sprachaudiometrische Hörverlust oft nur gering ist und die Verzerrungswirkung der Hörstörung nicht erfaßt wird. Der adaptive Göttinger Satztest (Kollmeier und Wesselkamp, 1997) oder der Oldenburger Satztest (Wagener et al., 1999) ermöglichen eine Sprachaudiometrie in Störgeräusch und somit eine Erfassung des individuellen Hörverlustes in einer realistischen Kommunikations-Situation. Als Maß wird der Sprachpegel „SRT“ (speech reception threshold) ver-

wendet, bei dem im Mittel 50 % der Wörter eines Satzes verstanden werden. Er muß mit der hohen Genauigkeit von 1 dB bestimmt werden, da die nachzuweisenden Unterschiede im Störgeräusch sehr viel niedriger ausfallen als bei der Sprachaudiometrie in Ruhe. Die oben genannten Satztests erreichen diese Sensitivität durch die genaue Abstimmung des Sprachmaterials auf das Störgeräusch und durch eine spezielle adaptive Pegelsteuerung, so daß bereits sehr kleine Veränderungen des Störgeräusch-Sprachsignal-Verhältnisses sehr große Veränderungen der Verständlichkeit bewirken.

Jeder Satz des Göttinger Satztest ist sinnvoll und hat durchschnittlich 5 Wörter. Für umfangreiche Hörgeräte-Evaluationen sollte der Oldenburger Satztest eingesetzt werden. Das Sprachmaterial für diesen Sprachtest besteht aus 10 Sätzen zu jeweils 5 Wörtern der Struktur „Name Verb Zahl Adjektiv Objekt“ (z.B. „Udo kauft zehn nasse Sessel“). Durch zufälliges Vertauschen der Wörter innerhalb der Wortgruppen kann eine Vielzahl nicht einprägsamer Testlisten erzeugt werden.

Der Proband hat bei einem Satztest die Aufgabe, jedes verstandene Wort eines dargebotenen Satzes zu wiederholen. Der Sprachpegel wird den Antworten entsprechend gesteuert, so daß adaptiv der SRT bestimmt wird.

Der Göttinger oder Oldenburger Satztest eignen sich auch zur Bestimmung von ILD („Intelligibility Level Difference“) und BILD („Binaural Intelligibility Level Difference“). Diese Größen betreffen das Zusammenspiel beider Ohren. Die ILD gibt an, inwieweit aus einer räumlichen Verteilung von Nutz- und Störschall noch Vorteile gezogen werden können. Sie kann durch einen Vergleich der Sprachverständlichkeit in den Meßsituationen  $S_0N_0$  und  $S_0N_{90}$  bestimmt werden ( $S$  = Sprache,  $N$  = Rauschen, der Index gibt den Winkel bezogen auf die Blickrichtung des Probanden an). Die BILD kann als Maß für die binaurale Störgeräuschunterdrückung aus der Differenz zwischen monauraler und binauraler Hörsituation in der Konfiguration  $S_0N_{90}$  berechnet werden. Durch die Messung von ILD und BILD kann das binaurale Resthörvermögen und gegebenenfalls die Vorteile einer beidohrigen Hörgeräte-Versorgung bestimmt werden.

## Höranstrengung

Auch wenn die Lautheits- und die Sprachverständlichkeitsmessung für zwei getestete Hörgeräte bei einem schwerhörigen Menschen gleiche Ergebnisse liefern, können die Geräte in bezug auf den Klangeindruck und die „Höranstrengung“ sehr unterschiedlich beurteilt werden.

Um die Höranstrengung meßbar zu machen, wird derzeit ein geeignetes Meßverfahren entwickelt. In einem ersten Schritt wurde mit 100 Schwerhörigen (68% Hörgerätebesitzer, 68% Männer und 32% Frauen, Durchschnittsalter 60 Jahre) eine Befragung zum Thema Höranstrengung durchgeführt. Das Meßinstrument beinhaltet neben qualitativen Fragen zur Höranstrengung vier Fragen zu 15 anstrengenden Hörsituationen. Neben der Anstrengung der Hörsituation (7-stufige Skalierung, 0=nicht-, bis 6=extrem anstrengend) mit und ohne Hörgerät, wurde auch die Stärke der Beeinträchtigung und die subjektive Wichtigkeit der Hörsituation erfaßt.

Es zeigte sich, daß bei offener und ungestützter Fragestellung 26,8% der Befragten „Gespräche mit mehreren Personen“, 12,6 % „Unterhaltung mit Nebengeräuschen“ und 9,6% der Befragten „Radio, TV bei einem Pegel für Normalhörende“ als anstrengende Hörsituationen spontan äußerten. Bei gestützter Fragestellung, jeweils ohne Hörgerät, wurde „Gespräche in einer vollbesetzten Gastwirtschaft“ als anstrengendste Hörsituation ( $M=4.6$ ,  $SD=1.39$ ), gefolgt von „Gespräche während einer Familienfeier“ ( $M=4.4$ ,  $SD=1.44$ ), „Theaterbesuch“ ( $M=4.4$ ,  $SD=1.55$ ), „Achten auf Bahnhofsdurchsage“ ( $M=4.3$ ,  $SD=1.76$ ) und „Besprechung mit Arbeitskollegen“ ( $M=4.0$ ,  $SD=1.74$ ) genannt. Das „Verfolgen einer Fernsehsendung“ wurde mit  $M=3.9$ ,  $SD=1.70$  angegeben; das Tragen eines Hörgerätes hatte hier den größten Effekt: um ca. zwei Skaleneinheiten ( $M=2.1$ ,  $SD=1.58$ ) reduzierte sich die subjektive Höranstrengung, wenn in dieser Situation ein Hörgerät getragen

wurde. Die am wenigsten anstrengendste Hörsituation war „Telefonieren ohne Hintergrundgeräusche“ ( $M=2.3$ ,  $SD=1.76$ ). Eine Faktorenanalyse (Hauptkomponentenanalyse, Kaiser-Kriterium) der 15 Hörsituationen (ohne Hörgerät) erbrachte mit 65,09% Varianzaufklärung eine überraschend deutliche einfaktorielle Struktur der Höranstrengung (Faktorenladungen alle  $> .728$ ). Regressionsanalysen bei den Hörgeräträgern zeigten u.a., daß eine geringe Höranstrengung in den Hörsituationen eine hohe Zufriedenheit mit dem eigenen Hörgerät vorhersagen konnte ( $Beta=-.365$ ,  $T=-3.008$ ,  $p=.004$ ), wodurch die Relevanz dieser neuen Dimension für die Hörgeräteentwicklung offenkundig ist.

Basierend auf diesen Ergebnissen soll die Höranstrengung experimentell erfaßt werden. In den Messungen zur Höranstrengung werden die kognitiven Ressourcen durch eine virtuelle Lärmumgebung belastet. In dieser Situation werden sowohl die subjektive Höranstrengung als auch „objektive“ Leistungsparameter (Wiederholung von Sätzen) erhoben, womit eine Binnendifferenzierung verschiedener Hörgeräte hinsichtlich der Höranstrengung angestrebt wird. In weiteren Schritten muß allerdings geklärt werden, inwieweit die Konstrukte Höranstrengung und Sprachverständlichkeit zusammenhängen.

### Qualitätsvergleich mit dem „virtuellen“ Hörgerät

Wie bereits erwähnt, bestimmt auch der Klang wesentlich den Höreindruck und die subjektive Akzeptanz eines Hörgerätes. Soll ein Klangvergleich zwischen zwei Programmen eines Hörgerätes vorgenommen werden, so kann dies durch direktes Umschalten des Hörgerätes bei Signaldarbietung durchgeführt werden. Für einen Vergleich zwischen der versorgten und der unversorgten Hörsituation oder zwischen zwei Hörgeräten unterschiedlicher Bauart, wurde in Oldenburg eine spezielle Apparatur, das sogenannte „virtuelle Hörgerät“, entwickelt. Diese Apparatur erlaubt einen direkten Vergleich verschiedener Verarbeitungsstrategien bei kontinuierlicher Signaldarbietung unter reproduzierbaren Bedingungen.

Während einer „Aufnahme“ werden dem Schwerhörigen verschiedene Signale im Freifeld dargeboten und die resultierenden Signale im Gehörgang durch ein Insitu-Mikrophon mit Verstärker auf eine Spur eines Mehrkanal-DAT-Recorders aufgenommen. Für jede Versorgungsart wird die Darbietung wiederholt und das Insitu-Signal auf eine andere Spur des DAT-Recorders aufgenommen. Nach allen Aufnahmen erfolgt die eigentliche Meßphase mit der Wiedergabe. In dieser Phase werden dem Probanden die aufgenommenen Ohrsignale über einen Einsteck-Lautsprecher im Gehörgang dargeboten. Zur Wiederherstellung der Originalsignale im Außenohr während der Aufnahme werden die aufgenommenen Signale mit der inversen Impulsantwort unerwünschter Verarbeitungsbestandteile gefaltet. Ein Paarvergleich erfolgt durch Umschalten zwischen den einzelnen Spuren des Recorders. In jedem Trial vergleicht der Schwerhörige zwei Verarbeitungsalternativen für verschiedene Signale bezüglich verschiedener Kriterien (z.B. „Höraufwand“, „Verständlichkeit“, „Genereller Eindruck“). Dabei wird der Höreindruck auf einer 5-stufigen Skala eingeordnet.

Der Qualitätsvergleich verschiedener Verarbeitungsstrategien liefert eine Rangfolge dieser verschiedenen Versionen in Abhängigkeit vom Beurteilungskriterium und der spezifischen Hörsituation. Die Einstellung eines Hörgerätes kann bei gleicher audiologischer Leistungsfähigkeit auf einen angenehmen Klang hin optimiert werden.

### Subjektive Zufriedenheit

Es gibt verschiedene Fragebogen-Inventare, um den vom Schwerhörigen empfundenen subjektiven Gewinn durch ein Hörgerät zu objektivieren (Kießling, 1997). Abgefragt werden Größen, welche den persönlichen Hörkomfort und das subjektive Kommunikationsvermögen widerspiegeln und die mit sprachaudiometrischen Verfahren nicht zugänglich sind.

So beinhaltet z.B. das Oldenburger Frageninventar (Holube und Kollmeier, 1994) Fragen zu „Hören in Ruhe“, „Hören in Störgeräusch“, zu „Psychosozialen Hörbeeinträchtigung“, zu „Richtungshören“ und zu „Tinnitus“. Der Fragebogen nach Kochkin (1996) fragt neben der Zufriedenheit in verschiedenen Hörsituationen auch nonauditive Parameter wie z.B. die Handhabung, Batterielebensdauer und Tragedauer ab. Um z.B. eine höhere Lebensqualität durch das Tragen von Hörgeräten nachzuweisen, wurde vom MUB für das Hörzentrum ein multidimensionales Meßinstrument zur Lebensqualität zusammengestellt.

Dies enthält neben international standardisierten Instrumenten des „Quality of Life“-Research auch spezifische Skalen, die auf die Lebenssituation der Schwerhörigen zugeschnitten sind (vgl. Tesch-Römer, 1997). Es werden dabei die Dimensionen „Lebenszufriedenheit“, „Schlafverhalten“, „Allgemeines Befinden“, „Kommunikation und Hörprobleme“, „Umgang mit Hörproblemen“, „Hörstörung und Kontakte“ und die „Affektbalance“ erfaßt.

### Zeitlicher Ablauf

Eine Hörgeräte-Evaluation im Hörzentrum läßt sich in vier Abschnitte unterteilen. Zunächst erfolgt die Definition und Validierung eines probaten Anpaßverfahrens. Im zweiten Abschnitt „Erste Leistungs- und Qualitätsbeurteilung“ wird das Hörgerät zunächst beim „Oldenburger Rundgang“ getestet. Anschließend werden Labormessungen zur Lautheitswahrnehmung, Sprachverständlichkeit, binauralen Perzeption und zur Qualitätsbeurteilung durchgeführt. Nachdem die Leistungsfähigkeit des Hörgerätes unter reproduzierbaren Laborbedingungen ermittelt wurde, testen die Probanden die Hörgeräte für einen Langzeittest (dritter Evaluationsabschnitt) in ihrer alltäglichen Umgebung. Abschließend werden innerhalb einer zweiten Leistungs- und Qualitätsbeurteilung ausgewählte audiologische Messungen wiederholt, um Akklimatisierungseffekte als auch den maximalen Gewinn durch das Hörgerät zu bestimmen.

### Zusammenfassung

Die vorgestellten Meßmethoden, Frage-Inventare und der zeitliche Meßablauf erfassen auditive und nonauditive Parameter einer Hörgeräteversorgung und ergeben ein umfassendes Bild der audiologischen Leistungsfähigkeit des Hörgerätes und der Güte der Anpassung.

### Literatur

- Brand T (2000) *Analysis and optimization of psychophysical procedures in audiology. Dissertation Oldenburg, ISBN 3-8142-0721-1*
- Gabriel, B., Albani, S., Kollmeier, B (1999) *Audiologische Erfolgskontrolle von digitalen Hörgeräte-Anpassungen. Z Audiol 38 (1), 26-32.*
- Hohmann V, Kollmeier B (1995) *Weiterentwicklung und klinischer Einsatz der Hörfeldskalierung. Audiol. Akust. 34, 48-56.*
- Holube J, Kollmeier B (1994) *Modifikation eines Fragebogens zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens und dessen Beziehung zur Sprachverständlichkeit in Ruhe und unter Störgeräuschen. Audiol. Akust. 33, 22-35.*
- Kießling J (1997) *Verifikation von Hörgeräteversorgungen. In Kießling J, Kollmeier B, Diller G Versorgungs- und Rehabilitation mit Hörgeräten. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 97-100.*
- Kochkin S (1996) *Customer Satisfaction and Subjektive Benefit with High Performance Hearing Aids. Hearing Review, Vol. 3 No. 12, December 1996, 16-26.*
- Kollmeier B (1997) *Hörflachenskalierung: Grundlagen und Anwendungen der kategorialen Lautheitsskalierung für Hördiagnostik und Hörgeräteversorgung. median Verlag, Heidelberg.*
- Kollmeier B, Wesselkamp, M (1997) *Development and Evaluation of a German Sentence Test for Objective and Subjective Speech Intelligibility Assessment. J. Acoust. Soc. Am. 102 (4), 2412-2421.*
- Tesch-Römer, C. (1997). *Schwerhörigkeit im Alter. Belastung, Bewältigung, Rehabilitation. Habilitationsschrift Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.*
- Wagener K, Kühnel V, Kollmeier B (1999) *Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. Z Audiol 38 (1), 4-15.*