

Projektbereich „Hilfen für Hörgeschädigte“

gefördert durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie

Förderkennzeichen: 01 VJ8903

Projektleiter: Prof. Dr. Otto Heller

Mitarbeiter: Dr. Michael Boretzki
Dipl.-Psych. Elmar Fichtl
Dr. Wolfram Knoblauch
Dipl.-Psych. Birgit May
Dr. Theo Nowak
Dipl.-Psych. Armin Stock

Psychologisches Institut der Universität Würzburg
Lehrstuhl III
Röntgenring 11
97070 Würzburg

Thema:

Entwicklung eines integrativen Verfahrens zur
audiologischen Diagnostik, ausgerichtet auf die
Prüfung und Bewertung technischer Hörhilfen für
Hörgeschädigte

Abschlußbericht

Teil I: Durchführung der Forschungsarbeiten zu den Projektbereichen Hörfeld- und Sprachaudiometrie

I - 1	Aufgabenstellung - Projektbereich Hörfeldaudiometrie	2
I - 2	Aufgabenstellung - Projektbereich Sprachaudiometrie	2
I - 3	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	3
I - 4	Planung und Ablauf des Vorhabens - Projektbereich Hörfeldaudiometrie.....	3
I - 4.1	Softwareentwicklung	3
I - 4.2	Kopfhörerkalibrierung	3
I - 4.3	Schulung der PTA und der studentischen Hilfskräfte.....	3
I - 4.4	Entwicklung verschiedener Testsets.....	4
I - 4.5	Durchführungsparameter	4
I - 4.6	Reihenuntersuchungen	4
I - 4.7	Reliabilitätsbestimmung	4
I - 4.8	Validierungsuntersuchung.....	5
I - 4.9	Normierungsmeßreihen.....	5
I - 5	Planung und Ablauf des Vorhabens - Projektbereich Sprachaudiometrie	5
I - 6	Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	7
I - 7	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
I - 8	Forschungsfortschritt bei anderen Arbeitsgruppen	8
I - 9	Bibliographie:	9
I - 10	Eigene Veröffentlichungen zu Hörfeld- und Sprachaudiometrie	10

I - 1 Aufgabenstellung - Projektbereich Hörfeldaudiometrie

Mit der Hörfeldaudiometrie stand zu Projektbeginn eine Diagnosemethodik zur Verfügung, die aufgrund vorauslaufender Untersuchungen des Instituts hohe Präzision und Reliabilität bei der Bestimmung des überschwelligen Lautheitsverlusts versprach. Im Rahmen des Projekts sollten die Meßvorschriften den Erfordernissen der Audiometriepraxis beim Hörgeräte-Akustiker oder HNO-Arzt angepaßt werden. Dies betraf sowohl die Einzelheiten der Meßdurchführung wie der Instruktion des Pb wie der Schulung des Versuchsleiters. Weiter war die Reliabilität des Verfahrens an einer geeigneten Stichprobe zu zeigen. Zu diesem Zweck sollte eine bezüglich des Hörverlusts heterogene Gruppe von Pbn mehrmals hörfeldaudiometrisch untersucht werden, um anhand der Test-Retest-Reliabilität und der Stabilität der Hörverlustmaße über die Messungen die Präzision des Verfahrens zu quantifizieren. Das dritte Ziel bestand in der Validierung der Hörfeldaudiometrie als Audiometrieverfahren. Als Kriterien waren die frequenzspezifische Sprachaudiometrie und die Isophonenaudiometrie geeignet. Schließlich sollten an einer umfangreichen Normalhörigen-Stichprobe kollektive Lautheitsfunktionen bestimmt werden, um Lautheitsnormen zur Berechnung des individuellen pegel- und frequenzabhängigen Lautheitsverlusts zur Verfügung stellen zu können.

I - 2 Aufgabenstellung - Projektbereich Sprachaudiometrie

Ziel des Bereichs Sprachtestentwicklung im Projekt: „Hilfen für Hörgeschädigte“ war die Erweiterung einer, an unserem Institut als Forschungsinstrument für den Hochtonbereich bereits entwickelten, frequenzspezifischen Sprachaudiometrie. Aufgabe war es, dieses Verfahren auf den Mittel- und Tieftonbereich auszuweiten, die Praxistauglichkeit zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren. Hierbei waren insbesondere zeitliche Aspekte zu berücksichtigen.

Zur Lösung dieser Aufgaben wurde ein Testverfahren verwendet, das die Fähigkeit der Probanden zur Konsonanten- bzw. Vokalunterscheidung bei verschiedenen Signalrauschabständen prüft. Der Einsatz von Störuschen ist unerlässlich, da die überwiegende Mehrheit der Hörgeräteträger in einer solchen Situation unter Kommunikationsschwierigkeiten leidet. Verwendet wurde hierbei je nach Fragestellung Stimmengewirr bzw. weißes Rauschen. Durch ein geschlossenes Antwortverfahren (closed set) wird sichergestellt, daß Faktoren, die nicht das reine Hörvermögen betreffen, wie Intelligenz, Bildung oder geistige Flexibilität, keinen Einfluß auf das Testergebnis haben. Um das Verfahren auf den Mittel- und Tieftonbereich zu erweitern, mußten Untersuchungen durchgeführt werden, die die Eignung verschiedener Konsonanten überprüften. Für den Mitteltonbereich wurden dabei gezielt Plosive untersucht, denn aus der Literatur gab es einerseits Hinweise, für einen starken Einfluß der, in diesem Frequenzbereich liegenden Transitionen, andererseits wurde aber auch dem Merkmal Burst die Hauptinformation für die Plosividentifikation zugeschrieben. Hier war zu klären, welche Merkmale in einem Sprachverständlichkeitstest mit Hintergrundrauschen von Bedeutung sind. Für den Tieftonbereich wurde gezielt die Fähigkeit der Probanden zur Vokaldiskrimination untersucht. Die Validität der erzielten Ergebnisse war durch einen Vergleich mit den Daten der Hörfeldaudiometrie zu überprüfen.

I - 3 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die personellen Voraussetzungen sind an unserem Institut für die Durchführung des Forschungsprojektes vorhanden, da bereits seit fast zwanzig Jahren psychoakustische Forschung betrieben wurde. Die zur Projektbeginn vorhandene technische Ausstattung wurde integriert, durch die Projektmittel laut Antrag erweitert, beziehungsweise der technischen Entwicklung, die insbesondere im Bereich Digitaltechnik rasante Fortschritte vollzogen hat, angepaßt. Nicht vorhersehbar war jedoch, die durch länger dauernde Baumaßnahmen des Universitätsbauamts am Institut entstandene Lärmbelastung, die akustische Messungen erschwerte, beziehungsweise zeitweilig unmöglich machte. Dadurch kam es immer wieder zu Verzögerungen und Wiederholungen von Meßreihen.

I - 4 Planung und Ablauf des Vorhabens - Projektbereich Hörfeldaudiometrie

I - 4.1 Softwareentwicklung

Für den ATARI-Rechner der Testapparatur wurde Software zur Hörfeldaudiometrie aus bereits zur Verfügung stehenden Routinen adaptiert und weiterentwickelt. Das Resultat ist ein leistungsfähiges Programm zur Durchführung der Hörschwellenmessung, der Hörfeldaudiometrie, der Mithörfeldaudiometrie und zur Isophonenbestimmung im adaptiven Konstanzverfahren. Die Durchführung der Messung kann gesteuert oder interaktiv erfolgen. Die einzelnen Signale können mit oder ohne Zusatzgeräusch, mit oder ohne ein Vorsignal geboten werden. Als Signale können aufgrund der Digitaltechnik im Prinzip beliebige Testgeräusche dienen. Die Ausgabe der Ergebnisse wurde so gestaltet, daß den mitarbeitenden schwerhörigen Probanden die hörfeldaudiometrische Diagnose in einer Form zur Verfügung stand, die auch dem mit dem Verfahren bisher nicht vertrauten Praktiker auf einfache Weise Aufschluß über die vorliegenden Lautheitsverluste gaben.

I - 4.2 Kopfhörerkalibrierung

Der ursprünglich verwendete offene Kopfhörer Jecklin Float Model 2, mit dem sich monaurale Lautheitsfunktionen bestimmen lassen, wurde in einer psychoakustischen Meßreihe kalibriert. Nachdem sich erwiesen hatte, daß HdO-Hörgeräte sich nicht präzise mit dem Jecklin-Hörer untersuchen lassen, stellten wir auf den Kopfhörer AKG K 1000 um, der dies ermöglicht. Für diesen Kopfhörer wurden Kalibriermessungen an einer größeren Kopfstichprobe mit dem Abgleichsparameter Gehörgangseingangsschallpegel durchgeführt. Die Umstellung des Kopfhörers beinhaltete nicht nur neue Kalibriermessungen, sondern auch eine erneute Untersuchung der Normlautheitsfunktionen.

I - 4.3 Schulung der PTA und der studentischen Hilfskräfte

Für die Einweisung in die Hörfeldaudiometrie wurde ein Schulungskonzept für die audiologischen Grundlagen, die Software-Benutzung und die Instruktion des Probanden entwickelt. Das gesamte Schulungsprogramm bestand aus einer ca. 30-stündigen theoretischen und praktischen Einweisung in das Verfahren. Vor der ersten selbständigen Versuchsdurchführung hospitierten die angehenden

Versuchsleiter bei erfahrenen Versuchsleitern. Da die eingewiesenen studentischen Hilfskräfte in der Regel nicht über den gesamten Projektzeitraum zur Verfügung standen, wurden in etwa dreivierteljährlichem Abstand neue Hilfskräfte angeworben und eingewiesen.

I - 4.4 Entwicklung verschiedener Testsets

Neben der Festlegung eines geeigneten Testsets für die Standardhörfeldaudiometrie wurden Kurzversionen der Hörfeldaudiometrie ohne Hörschwellenmessung und die Hörfeldaudiometrie im Maskiergeräusch erprobt. Die Kurzversionen kamen in vier Reihenuntersuchungen zum Einsatz (zwei Untersuchungsreihen bei der AOK Würzburg, eine Untersuchungsreihe auf der Mainfrankenmesse 1993 (Audiomobil), eine Untersuchungsreihe, bei der das Audiomobil an verschiedenen Stellen der Stadt aufgestellt war). Mithörfeldaudiometrien wurden bei Normalhörigen für Normierungszwecke und bei Probanden der Reliabilitätsstichprobe durchgeführt.

I - 4.5 Durchführungsparameter

Die Gestaltung der Durchführungsparameter geschah unter Einbeziehung aller zur Verfügung stehender Kenntnisse und Ergebnisse aus der Bezugssystem- und Skalierungsforschung, die im Laufe von drei Jahrzehnten im Institut erarbeitet worden sind. Zentraler Gesichtspunkt war, die Versuchsanordnung so zu gestalten, daß das Phänomen der absoluten Lautheit maximal gegenüber anderen Quantitätsphänomenen (Lautheitskomparation, Lautheitsstellen, erinnerte Lautheitsidentitäten) begünstigt wurde. Ein kritischer Durchführungsparameter der Hörfeldaudiometrie ist die Abfolge der Testsignale. In allen Untersuchungsreihen mit gesteuerter Abfolge wurde mit einem jeweils kleinen Satz fixer Reihenfolgen gearbeitet, die nach dem Prinzip der Ähnlichkeitsminimierung aufeinanderfolgender Reize konstruiert waren und eine systematische Kontrolle von Reihenfolgeeffekten zulassen. Um die wesentlichen Unterschiede des Serienversuchs, wie es die Hörfeldaudiometrie ist, von der einmaligen Beschreibung einer Geräuschlautheit herauszuarbeiten, wurde eine große Probandengruppe im sogenannten Ein-Urteils-Versuch untersucht.

I - 4.6 Reihenuntersuchungen

In vier Reihenuntersuchungen wurden Kurzverfahren ohne Hörschwellenmessung erprobt (s.o.). Sie kamen zusammen mit sprachaudiometrischen Verfahren zum Einsatz. Zwei der Reihenuntersuchungen (1991, 1992) fanden in Räumen der städtischen AOK statt, zwei wurden im Audiomobil (1993) durchgeführt. Die Reihenuntersuchungen dienten auch dazu, schwerhörige Probanden für ausführliche audiometrische Messungen anzuwerben (Reliabilitätsuntersuchung, Validitätsuntersuchung).

I - 4.7 Reliabilitätsbestimmung

An einer bezüglich des Hörverlusts gemischten Stichprobe wurden in je Proband insgesamt vier Sitzungen mehrfach hörfeld- und sprachaudiometrische Messungen ausgeführt. Aus den Ergebnisse ließen sich Test-Retest-Reliabilitäten und Verlustbestimmungsstabilitäten berechnen.

I - 4.8 Validierungsuntersuchung

Eine ebenfalls gemischte Stichprobe diente der Bestimmung der Übereinstimmung zwischen individuell im Konstanzverfahren bestimmter Isophone und der Isophone, die sich aus dem hörfeldaudiometrischen Ergebnis berechnen läßt.

I - 4.9 Normierungsmeßreihen

Zwei Normalhörigenstichproben wurden mit einem umfangreichen Testfrequenzensatz hörfeldaudiometrisch untersucht. Die zweite Meßreihe schien nach dem Kopfhörerwechsel (s.o.) angezeigt, um sicherzugehen, daß mit dem neuen Kopfhörer nicht neue psychoakustische Faktoren zu berücksichtigen waren. In beiden Meßreihen wurden Ruhe-Hörfelder und Mithörfelder im Stimmengewirr erhoben, das in der Sprachaudiometrie verwendet wurde. Eine kleinere Stichprobe wurde mit einem Kurzverfahren mit leisem weißen Rauschen als Hintergrund untersucht. Die Ein-Urteils-Meßreihe (s.o.) diente ebenfalls der Absicherung der im Serienversuch ermittelten Normlautheitsfunktionen. Die Hörfeld- und Schwellendaten, die sich in der Reihenuntersuchung auf der Mainfrankenmesse 1993 ergaben, können zwar zur Bestimmung von Altersnormen herangezogen werden, allerdings besitzen solche Normen aufgrund der vorgefundenen Stichprobe nur beschränkte externe Validität. Außerdem handelte es sich nicht um Ruhe-Messungen, so daß die Verfahren für geringgradige Defizite nicht sensitiv waren.

I - 5 Planung und Ablauf des Vorhabens - Projektbereich Sprachaudiometrie

Der bisherige Verlauf und derzeitige Stand der Arbeiten läßt sich in Anlehnung an den im Forschungsantrag dargelegten Zeit- und Arbeitsplan detailliert beschreiben.

Die Arbeitsstufe 1 des Sprachtests begann mit einer Sitzung des in der Ergänzung zum Forschungsantrag aufgeführten interdisziplinären wissenschaftlichen Beirats. In Kurzreferaten dokumentierten die Mitarbeiter des Projekts die bisher geleisteten Arbeiten. In der anschließenden Diskussion wurden insbesondere von Herrn Dipl.- Ing. L. Moser, sowie Herrn Dr. med. Ch. Seiler Anregungen zur Meß- und Testtechnik gegeben. Auf Initiative von Herrn Dipl.-Phys. Dr. F. Schön wurde die Anzahl der im Test zu verwendenden Antwortalternativen besprochen. Von besonderem Interessen waren auch die von Hörgeräteakustikermeister Herrn Jopp gemachten Vorschläge für potentielle Testwörter, über die er aus seiner alltäglichen Berufserfahrung im Umgang mit Schwerhörigen berichten konnte. Insgesamt kam es bei dieser Sitzung zu einem umfassenden Erfahrungsaustausch zwischen den Teilnehmern, der die verschiedenen Aspekte und Probleme der Sprachaudiometrie erhellte.

Bezüglich des Erstellens bzw. der Erweiterung der Sprachtestwortliste, sowie der Zusammenstellung verschiedener Vortestsets wird auf Kapitel III dieses Berichts verwiesen, in welchem eine ausführliche Dokumentation der Stadien der Testentwicklung vorliegt.

Digitale Aufnahmen der Testitems für die Vortestsets mußten unter Berücksichtigung des Wissenszuwachses und fortschreitender Aufnahmetechnik mehrfach vollzogen werden. Der erhöhte Arbeitsaufwand hatte jedoch den günstigen Nebeneffekt, daß wir inzwischen einen reichhaltigen Pool an Testitems zur Verfügung haben.

Durch eine flexible Softwaregestaltung und -weiterentwicklung ist es jedoch gelungen die technischen Möglichkeiten so zu verbessern, daß wir aus eigenen Mitteln in der Lage sind, qualitativ hochwertige digitale Aufnahmen zu erstellen und diese computergesteuert wiederzugeben. Die jeweils verwendeten Items wurden bezüglich ihrer Pegelhomogenität ausgemessen und falls notwendig korrigiert. Bereits während der Aufnahme wurde auf eine hohe Homogenität geachtet.

Das Sprachrauschen wurde durch gezielte digitale Mischung verschiedener Sprachsequenzen einzelner Sprecher hergestellt.

Zu Beginn der Stufe 3 wurden in unserem interdisziplinären psychoakustischen Kolloquium die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen vorgestellt und diskutiert.

Ein inzwischen entwickeltes Sprachtestdarbietungsprogramm gestattet es, auf eine feste Abmischung der Signal-Rausch-Einheiten zu verzichten. Diese können nun im Test individuell auf den Patienten abgestimmt werden, wodurch eine Erhöhung des Auflösungsvermögens des Meßinstruments erzielt wurde. Voraussetzung dafür ist lediglich der Einsatz eines nur wenige Minuten dauernden Vortests, der Aufschluß darüber gibt, wo für den jeweiligen Patienten die Verständlichkeitsschwellen liegen. In dem anschließenden Haupttest wird dann gezielt um diesen Bereich gemessen. Parallel zu dieser Langversion des vorläufigen Sprachtests wurde eine Kurzversion entwickelt, die mit zeitlich geringerem Aufwand, allerdings auch bei geringerer Verlässlichkeit der Daten, geeignet ist, neue Testitems oder Testbedingungen schnell auf deren Effektivität zu prüfen.

Aus den über die Reihenuntersuchung angeworbenen Schwerhörigen konnte eine ausreichende Anzahl an Versuchspersonen rekrutiert werden, die an unserem Institut die verschiedenen Testverfahren durchliefen. Bedingt durch Baumaßnahmen und dem damit verbundenen erhöhten Lärmpegel sind die Untersuchungen in zeitlichen Verzug geraten.

Von besonderer Wichtigkeit für das Vorhaben war die umfangreiche psychoakustische Kopfhörereichung, die gleich zu Beginn des Projekts mit dem Kopfhörer Jecklin Float model two im sogenannten Eingabelungsverfahren durchgeführt wurde. Mit vier trainierten Versuchspersonen wurde ein Lautheitsabgleich zwischen Lautsprecher (Visaton NF-400 Nahfeldmonitor) und Kopfhörer durchgeführt. Dieser ermöglicht es, den Zusammenhang zwischen Schalldruckpegel im freien Schallfeld und der elektrischen Spannung am Kopfhörer, die einer äquivalenten Beschallung entspricht, zu erfassen. Auf dieselbe Art und Weise wurde inzwischen auch der Kopfhörer K 1000 der Firma AKG geeicht, der insbesondere für die Messung mit Hörgerät einige Vorteile gegenüber dem bisher verwendeten Kopfhörer bietet.

Die Einarbeitung der Psychologisch-Technischen Assistentin erfolgte schnell. Für die Ausbildung der studentischen Hilfskräfte mußte eine umfassende Schulung stattfinden, da man hierbei nicht auf ähnliche Vorkenntnisse in der psychologischen Messung wie bei der PTA zurückgreifen konnte. Die zeitaufwendige Entwicklung von Schulungsmaterialien für die Sprach- und Hörfeldaudiometrie machte sich im nachhinein bezahlt, denn so konnte die bei studentischen Hilfskräften übliche hohe Fluktuation und deren negative Konsequenzen für das Arbeitsvorhaben durch kürzere Einlernzeiten neuer Hilfskräfte abgefangen werden. Darüber hinaus wurde, durch eine intensive Betreuung der Hilfskräfte und gezieltes Feedback durch die Diplom Psychologen gewährleistet, daß der Ausbildungsstand der studentischen Hilfskräfte erhalten und wenn möglich sogar verbessert wurde.

Zusätzlich zu dem hier beschriebenen Programm wurde eine Untersuchung in Form einer Diplomarbeit über den Einfluß von Konsonant-Vokal-Transitionen auf die Sprachverständlichkeit durchgeführt, die wichtige Erkenntnisse ergab, die im Sinne einer Erweiterung des Sprachtests auf andere Frequenzbereiche genutzt werden konnten. Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden direkt in die

Gestaltung des Sprachtests integriert. Eine genaue Beschreibung findet sich in Kapitel 2 dieses Berichts.

Zu Beginn von Phase 2 / Stufe 4 der Sprachtestentwicklung zeichnete sich ab, daß die Durchführung umfangreicher Reihenuntersuchungen zur Testnormierung noch nicht sinnvoll ist. Dennoch hatten wir uns entschlossen, die bisher vorliegende Testversion zusammen mit dem Hörfeld auf der Mainfrankenmesse (MFM) in Würzburg einzusetzen. In Zusammenarbeit mit der Ausstellungsgesellschaft (AFAG, Nürnberg) waren wir mit unserem Audiomobil, daß dabei erstmals zum Einsatz kam, 10 Tage lang auf der Messe und konnten so über 500 Besucher audiometrisch untersuchen. Da der Andrang auf der Messe sehr groß war, entschlossen wir uns, in Zusammenarbeit mit der Stadt Würzburg, mit dem Audiomobil in verschiedenen Stadtteilen Hörtests mit den neuen Verfahren anzubieten. Dabei konnten weitere 62 Personen untersucht werden.

Da das Interesse an unseren Untersuchungen sehr groß war, mußten wir es umso mehr bedauern, daß die Auswertung der Ergebnisse der MFM und auch der Stadtteiluntersuchungen zunehmend zeigten, daß das Audiomobil nicht ausreichend lärmgedämpft ist, um wissenschaftlich solide Ergebnisse zu erhalten. Erhalten bleibt jedoch der Erfolg, durch die Präsenz auf der Messe und in verschiedenen Stadtteilen mit dazu beigetragen zu haben, präventiv durch Informationsgespräche und Aufklärungsarbeit auf die Gefahr eines Hörverlustes hinzuweisen. Erstaunlich hoch war dabei das Interesse besonders bei jüngeren Besuchern der Messe.

I - 6 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Auf dem Arbeitsgebiet: „frequenzspezifische Sprachaudiometrie“ liegen neben den Vorschlägen unserer Forschungsgruppe nur Ansätze aus Frankreich vor, die aber aufgrund der verschiedenen Sprachfamilien (romanisch gegenüber germanisch) nicht übertragbar sind. Dennoch sind an dieser Stelle folgende Autoren zu nennen: Lafon (1964) mit seinem „test de recrutement“; Dupret (1980), der den „test fréquentiel“ entwickelte sowie Lefèvre (1986) und Köster & Lefèvre (1987), die den Ansatz von Dupret weiterverfolgen. Für die allgemeine Literaturrecherche wurde die medizinische Datenbank „medline“ sowie die psychologischen Datenbanken: „psychlit“ und „psyndex“ verwendet. Im Teilbereich: „Eingehende Darstellung der Ergebnisse“ dieses Berichts wird die relevante Literatur benannt.

I - 7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die jährlich stattfindende "Deutsche Jahrestagung für Akustik" (DAGA) bot ein Forum, auf dem die Projekt-Mitarbeiter mit Kollegen aus anderen Arbeitsgruppen, vor allem den Mitarbeitern von Prof. Dr. Kollmeier (Herr Launer, Herr Hohmann, Frau Gabriel, Herr Verhey), Forschungsergebnisse und Untersuchungsvorhaben diskutieren konnten. Weiter arbeiteten wir mit der AOK Würzburg zusammen, die zwei der Reihenuntersuchungen ermöglichte. Mit der Firma AKG Wien waren wir in Kopfhörer-Fragen verbunden und erhielten in meßtechnischer und apparativer (zwei Kopfhörer-Leihgaben) Hinsicht freundliche Unterstützung (Dr.-Ing Richter, Dr.-Ing. Opitz). Die Kontakte mit ortsansässigen Hörgeräte-Akustikern (Herr Jopp, Herr Huth und Herr Dickert), der wissenschaftlichen Leitung der Firma Geers, Dortmund (Dr.-Ing. Haubold), Herrn Ing. Rohwedder von der Lübecker Akademie und der Audiologiearbeitsgruppe an der Dresdener Universität (Dr.-Ing. Fuder) waren sehr

hilfreich, unter anderem im Hinblick auf den Praxis-Bezug unserer Arbeit. Die Firmen Geers Resound und Phonak unterstützten uns freundlicherweise mit Hörgeräte-Leihgaben und Anpaß-Soft- und Hardware. Eine Mitarbeiterin (Frau Dr. Diehl) von Dr.-Ing. Moser hielt zur Aus- und Fortbildung der Mitarbeiter ein Seminar über audiologische Techniken und HNO-ärztliche Diagnostik an der Würzburger HNO-Klinik ab. Auf einer von uns organisierten Fach-Tagung über unsere Arbeit konnten wir mit den Hörgeräte-Akustikern der unterfränkischen Region die Erfordernisse der Hörgeräte-Anpaß-Praxis diskutieren. Die jährlichen Tagungen der Union der Hörgeräte-Akustiker (UHA) boten ebenfalls Gelegenheit, sich über aktuelle Entwicklungen in Audiometrie und Hörgeräte-Entwicklung zu informieren. Hörgeräte- und Audiometer-Hersteller stellten uns umfangreiches Informationsmaterial über ihre Produktpalette zur Verfügung. Prof. Dr. Hellbrück stellte zeitweise ein Kunstkopf-Aufnahme-System zur Verfügung. Ihnen allen sei an dieser Stelle für die Zusammenarbeit gedankt.

I - 8 Forschungsfortschritt bei anderen Arbeitsgruppen

Mit unserer hörfeldaudiometrischen Forschung stehen Studien der Kollmeier-, der Hellbrück- und der Kießling-Arbeitsgruppe in Zusammenhang. Kollmeier und Kießling favorisieren ein Verfahren, das nicht in allen Aspekten mit unserem Ansatz übereinstimmt (Hohmann 1993, Hohmann & Kollmeier 1995, Launer 1995, Kießling et al. 1993 a, b, 1994, Kießling 1995). Die Reizreihenfolge und die Skala betreffend liegen verschiedene Varianten vor. Hellbrück et al. (1995) konnten in mehreren Experimenten die kritische Rolle der Darbietungsreihenfolge herausarbeiten. Die Faktoren der Reihenfolgeeffekte sind jedoch erst ansatzweise geklärt. Für die Audiometriepraxis wird die Entwicklung effektfreier Reihenfolgen - dies läßt sich im Vergleich zum Ein-Urteils-Versuch prüfen - vor der systematischen Klärung der Reihenfolgeproblematik stehen müssen.

Kießling und Mitarbeiter (Kießling 1995, Kießling et al. 1994) zeigten in vergleichenden hörschwellen- und hörfeldaudiometrischen Untersuchungsreihen, daß der überschwellige Lautheitsverlust nicht aus der Knochenleitungsschwelle prädiagnostiziert werden kann. Dies heißt einmal mehr, daß die Reintonaudiometrie durch die Hörfeldaudiometrie ergänzt werden sollte. Kugler & Moser (1995) untersuchten das Hörfeld von Kindern und prüften auf Übereinstimmung mit Erwachsenen-Daten. In weiteren Studien wurden Sonden-Messungen von Hörgeräte-Verstärkungen im Gehörgang mit hörfeldaudiometrischen Diagnosen der Verstärkungsbetrages auf Übereinstimmung geprüft (Meister & Wedel 1995, Kießling et al. 1993 a, b).

Nicht über Kategorienskalierung, sondern über cross-modal-matching und magnitude estimation versuchen Rhona Hellman und Mitarbeiter (Hellman & Meiselman 1990, 1993, Hellman 1993) das Recruitment zu quantifizieren. Vergleicht man die Präzision dieser Methodik mit derjenigen der Hörfeldaudiometrie, so muß letzterer der Vorzug gegeben werden. Über ebenfalls zu geringe Präzision verfügen Verfahren, die lediglich auf einer fünfteiligen einstufig angewendeten Kategorienskala beruhen (Allen et al. 1990, Pluvinaige & Benson 1988).

Im Bereich der frequenzspezifischen Sprachaudiometrie sind keine Fortschritte von anderer Seite mitgeteilt worden. Jedoch wurden auf dem Gebiet der sprachrepräsentativen Sprachaudiometrie einige Arbeiten publiziert, so zum Beispiel in dem Überblicksband: Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie, herausgegeben von Kollmeier (1992). Oder in Zeitschriftenveröffentlichungen: Kießling, Schubert und Wagner (1994a,b), die Vergleichsuntersuchungen zwischen fünf verschiedenen Sprachtestverfahren (Freiburger Einsilbertest, Einsilber-Reimtest, Zweisilber-Reimtest

in männlicher und weiblicher Aufsprache, Göttinger Satztest) mit Normalhörenden und Schallempfindungsschwerhörigen durchführten. Ergebnis dieser Untersuchung ist, daß alle Wörertests ähnliche Steigungen der Verständlichkeitsfunktionen aufweisen, daß der Satztest jedoch signifikant steilere psychometrische Funktionen erzielt. Besonders unter dem Aspekt der Praktikabilität wird der Satztest von den Autoren für den Einsatz in Diagnostik und Rehabilitation empfohlen. Kliem und Kollmeier (1994): Entwicklung und Evaluation eines Zweisilber-Reimtestverfahrens für die deutsche Sprachaudiometrie. In dieser Untersuchung wird ein neu konzipiertes, phonetisch ausbalanciertes Reimtestverfahren vorgestellt und aufgrund der Vorteile gegenüber dem Freiburger Sprachtest (geschlossenes Antwortformat) für die Standardaudiometrie im klinischen Alltag vorgeschlagen. Kliem und Kollmeier (1995): Überlegungen zur Entwicklung eines Zweisilber-Kinderreimtests für die klinische Audiologie. Hier wird eine erste Version eines neuen Kindersprachtests vorgestellt. Konsonanten können dabei in der Anlautposition (n=45 Wörter) und der Inlautposition (n=33 Wörter) überprüft werden. Für die Vokale besteht ein Testwortinventar von 24 Wörter in der Inlautposition.

I - 9 Bibliographie:

- Allen, J.B., Hall, J.L., Jeng, P.S. (1990): Loudness growth in ½-octave bands (LGOB) - A procedure for the assessment of loudness. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88, 745-753.
- Dupret, J. P. (1980): Test de mot sans signification. Lyon Mémoire Collège National d'Audioprothese.
- Hellbrück, J., Thomamüller, D., Zeitler, A. (1995): Hörfeldaudiometrie normalhörender Personen in natürlichen Schallfeldern. *Audiologische Akustik*, 2, 60-80.
- Hellman, R.P., Meiselman, C.H. (1990): Loudness relations for individuals and groups in normal and impaired hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88, 2596-2606.
- Hellman, R.P., Meiselman, C.H. (1993): Rate of loudness growth for pure tones in normal and impaired hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 93, 966-975.
- Hellman, R.P. (1993): Can magnitude scaling reveal the growth of loudness in cochlear impairment? In: Verillo, R.T. (Hrsg.), *Sensory research. Multimodal perspectives*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillside, NJ, S. 1-18.
- Hohmann, V. (1993): Dynamikkompression für Hörgeräte - psychoakustische Grundlagen und Algorithmen. VDI-Verlag, Düsseldorf, Reihe 17, Nr. 93.
- Hohmann, V., Kollmeier, B. (1995): Weiterentwicklung und klinischer Einsatz der Hörfeldskalierung. *Audiologische Akustik*, 2, 48-59.
- Kießling, J. (1995): Zum überschwelligen Lautheitsanstieg bei Schallempfindungsschwerhörigen - Konsequenzen für die Hörgeräte-Entwicklung und -Anpassung. *Audiologische Akustik*, 2, 82-89.
- Kießling, J., Steffens, T., Wagner, I. (1993): Untersuchungen zur praktischen Anwendbarkeit der Lautheitsskalierung. *Audiologische Akustik*, 32, 100-115.
- Kießling, J., Schubert, M., Wagner, I. (1993): Correlation of insertion gain data - probe microphone measurements and loudness scaling. *IRCA-Newsletter*, No. 6, 13-18.
- Kießling, J., Schubert, M., Wagner, I. (1994): Lautheitsskalierung - Ein Verfahren zum quantitativen Recruitmentnachweis. *HNO*, 42, 350-357.

- Kießling, J., Schubert, M., Wagner, I. (1994 a, b): Sprachverständlichkeitsmessungen an Normalhörenden und Schallempfindungsschwerhörigen - fünf Sprachtests im Vergleich. Teil I und II. *Audiologische Akustik* 33 (1/94), 6-19, (2/94), 11-15.
- Kliem, K. (1993): Entwicklung und Evaluation eines Zweisilber-Reimtestverfahrens in deutscher Sprache zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit in der klinischen Audiologie und Nachrichtentechnik. Inaugural-Dissertation, Universität Oldenburg.
- Kliem, K., Kollmeier, B. (1994): Entwicklung und Evaluation eines Zweisilber-Reimtestverfahrens für die deutsche Sprachaudiometrie. *Audiologische Akustik*, 33, 4-14.
- Kliem, K. und Kollmeier, B. (1995): Überlegungen zur Entwicklung eines Zweisilber-Kinderreimtests für die klinische Audiologie. *Audiologische Akustik*. 34. 6-11.
- Kollmeier, B. (1992): *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. Median Verlag. Heidelberg.
- Köster, J.P. und Lefèvre, F. (1987). Ein neues rechnerunterstütztes audiometrisches Verfahren. DAGA 87. „Fortschritte der Akustik“. Aachen.
- Kugler, M., Moser, L. (1995): Ein lineares Modell des kindlichen Hörfeldes gemessen mit dem Würzburger Hörfeld. *Audiologische Akustik*, 4, 162-170.
- Lafon, J.C. (1964): *Le test phonétique et la mesure de l'audition*. Centrex, Eindhoven.
- Launer, S. (1995): *Loudness Perception in Listeners with Sensorineural Hearing Impairment*. Inaugural-Dissertation, Universität Oldenburg.
- Lefèvre, F. (1986): *Paramètres phonétiques dans une audiométrie par ordinateur*. Buske, Hamburg.
- Meister, H., v. Wedel, H. (1995): *Kategorial-Lautheitsskalierung und Sondenmessungen*. *Audiologische Akustik*, 4, 172-178.
- Pluvinaige, V., Benson, D. (1988): *New dimensions in diagnostics and fitting*. *Hearing Instruments*, 39.

I - 10 Eigene Veröffentlichungen zu Hörfeld- und Sprachaudiometrie

- Boretzki, M., Heller, O., Knoblach, W., Fichtl, E., Stock, A., Opitz, M. (1994): *Untersuchungen zur Reliabilität und Sensitivität der Hörfeldaudiometrie*. In: *Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Fachbeiträge der 20. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik, DAGA 1994*, Dresden.
- Boretzki, M., Knoblach, W., Fichtl, E., Stock, A., May, B., Heller, O. (1996): *Hörfeldaudiometrische Lautheitsfunktionen normalhöriger Probanden*. In: *Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Fachbeiträge der 22. Jahrestagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik, DAGA 1996*, Bonn (im Druck).
- Fichtl, E. (1996): *Arbeitstitel: Urteilergebnisse bei der Hörfeldaudiometrie*. Inauguraldissertation, Universität Würzburg (in Vorbereitung).
- Heller, O. (1991): *Orientated Category Scaling of Loudness and Speechaudiometric Validation*. In: A. Schick, J. Hellbrück, R. Weber (Eds.): *Contributions to Psychological Acoustics V. Results fo the Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, S. 135-159.

Heller, O. (1992): Frequenzspezifische Sprachaudiometrie. In: Kollmeier, B.: Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. Median-Verlag. Heidelberg. 264-277.

Heller, O. (1995): Direkte Skalierung in der Hörfeldaudiometrie. Teil 1. HörBericht 56/95, Hrsg.: Geers, Dortmund.

Heller, O. (1995): Direkte Skalierung in der Hörfeldaudiometrie. Teil 2. HörBericht 57/95, Hrsg.: Geers, Dortmund.

Knoblach, W. (1992). Methodischer Ansatz für einen hochfrequenzspezifischen Sprachtest. In: Birger Kollmeier: Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. Median-Verlag. Heidelberg. 278-286.

Knoblach, W. (1996): Sprachwahrnehmung bei Innenohrschwerhörigkeit. Zur Psychophysik der Verständlichkeit. Inaugural-Dissertation Universität Würzburg, Kovac-Verlag, Hamburg.

Stock, A., Knoblach, W. und Heller, O. (1993): Die Bedeutung von Frikativ-Vokal-Formanttransitionen für die Verständlichkeit von Zweisilbern mit /s/-Anlaut. Teil 1. Audiologische Akustik. 32. 190-194.

Stock, A., Knoblach, W. und Heller, O. (1994): Die Bedeutung von Frikativ-Vokal-Formanttransitionen für die Verständlichkeit von Zweisilbern mit /s/-Anlaut. Teil 1. Audiologische Akustik. 33. 21-24.

Weitere Veröffentlichungen in Vorbereitung:

BORETZKI, M.: *Monaurale Ruhelautheitsfunktionen von Normalhörigen.*

BORETZKI, M.: *Mithörfeldaudiometrische Untersuchung bei Normal- und Schwerhörigen.*

BORETZKI, M.: *Die Reizabfolge als Ursache von Urteilsfehlern in der Hörfeldaudiometrie - Eine Datenanalyse.*

FICHTL, E.: *Der Einfluß des Kontexts in der Hörfeldaudiometrie.*

HELLER, O.: *Zur Wirkung von Serie und Abfolge in der Hörfeldaudiometrie.*

HELLER, O.: *Die Bedeutung der Orientierung in der Skalierung.*

HELLER, O.: *Der Einsatz frequenzspezifischer Sprachaudiometrie in der Hörgeräteanpassung.*

KNOBLACH, W.: *Lautheitsspektrographie als Instrument zur Sprachtestentwicklung.*

STOCK, A.: *Die Bedeutung von Frikativ-Vokaltransitionen für die Frikativdiskrimination bei Störgeräusch.*

Teil II: Hörfeldaudiometrie

Meßtechnik, Normierung, Reliabilität und Validität

II - 1	Schalldarbietung.....	3
II - 1.1	Labor	3
II - 1.2	Apparatur.....	3
II - 1.3	Testschalle	4
II - 1.4	Psychoakustische Kalibrierung des Jecklin-Kopfhörers.....	4
II - 1.5	Physikalische Kalibrierung der Kopfhörer Jecklin und AKG K 1000	6
II - 1.5.1	Ermittlung der Entzerrungsfunktionen.....	7
II - 1.5.2	Intra- und Interindividuelle Pegelstreuung der Gehörgangsimmission.....	10
II - 2	Normlautheitsfunktionen	12
II - 2.1	Skalierungstechnik	12
II - 2.2	Meßprogramme.....	13
II - 2.3	Gleichung zur Modellierung der Lautheitsfunktion	13
II - 2.4	Untersuchungen zur Form der Lautheitsfunktion	16
II - 2.5	Gewinnung der monauralen Normlautheitsfunktionen	19
II - 2.6	Validierung	26
II - 2.7	Zur binauralen Lautheitsfunktion Normalhöriger	27
II - 3	Reliabilität der Hörfeldaudiometrie	31
II - 4	Validität der Hörfeldaudiometrie	41
II - 4.1	Frequenzabstandsabhängige Interkorrelation der Hörverluste.....	41
II - 4.2	Validierung durch Isophonenaudiometrie.....	43
II - 5	Literatur	47
II - 6	Zum Problem der Wirkung von Serie, Reizabfolge und Orientierung....	49
II - 6.1	Einurteilversuch (EU)	50
II - 6.2	Serienversuch	50
II - 6.3	Ergebnisse	50
II - 6.3.1	Vergleich von ungeübten mit geübten Pbn	50
II - 6.3.2	Wirkung der Darbietung in Serie	51
II - 6.4	Versuche mit korrigierter Abfolge als Lautheitsnormen	52
II - 6.5	Ein-Person-Urteil-Versuch (EPU).....	53
II - 6.6	Orientierung des Pb: EPU im Vergleich zur Norm	54
II - 7	Ein Modell der Lautheitswahrnehmung.....	56
II - 7.1	Einleitung.....	56
II - 7.2	Die Lautheitsfunktion.....	56
II - 7.3	Vergleich mit den experimentellen Daten.....	58
II - 7.4	Schlußbemerkung	61
II - 8	Überhörabstände der Kopfhörer	62
II - 8.1	Ipsi- und contralaterale Maskierfunktionen normalhöriger Pbn.....	62
II - 8.1.1	Versuchsanordnung und -durchführung.....	62
II - 8.1.2	Bestimmung der Maskierfunktionen	63
II - 8.2	Überhörabstandsmessungen an einem einseitig tauben Pb.....	65

II - 9	Monaurale Lautheitsfunktionen bei contralateraler Maskierung	66
II - 9.1	Problembereich	66
II - 9.2	Experimenteller Zugriff	70
II - 9.3	Ergebnisse.....	71
II - 9.3.1	Binaurale Summation und zentrale Maskierung.....	71
II - 9.3.2	Interindividuelle Einstufungskonsistenz.....	76
II - 9.4	Literaturverzeichnis	77
II - 10	Untersuchungen zur Reliabilität und Sensitivität der Hörfeldaudiometrie	78
II - 10.1	Beschreibung der Methode	79
II - 10.2	Reliabilität des Verfahrens.....	81
II - 10.3	Sensitivität des Verfahrens.....	81
II - 11	Hörfeldaudiometrische Lautheitsfunktionen normalhöriger Probanden	83
II - 11.1	Skalierungstechnik	83
II - 11.2	Apparatur und Reproduzierbarkeit des Schallfelds	84
II - 11.3	Gewinnung der monauralen Normlautheitsfunktionen	85
II - 11.4	Validierung.....	86
II - 11.5	Literatur:	87

II - 1 Schalldarbietung

II - 1.1 Labor

Die audiometrischen Untersuchungen wurden zum größten Teil im schallarmen Labor des Instituts durchgeführt. Es handelt sich dabei um einen Kellerraum des Institutsgebäudes, der durch Wand- und Fensterverkleidung, Estrich, Teppichboden, Doppeltüre etc. für die Meßzwecke ausreichend gegen den Außenschall abgeschirmt und genügend reflexionsarm ist. Die Terzpegel des akustischen Hintergrunds liegen im Meßbereich (100 Hz bis 10 kHz) zwischen 10 und 20 dB SPL, wie in Abbildung 1 zu sehen ist.

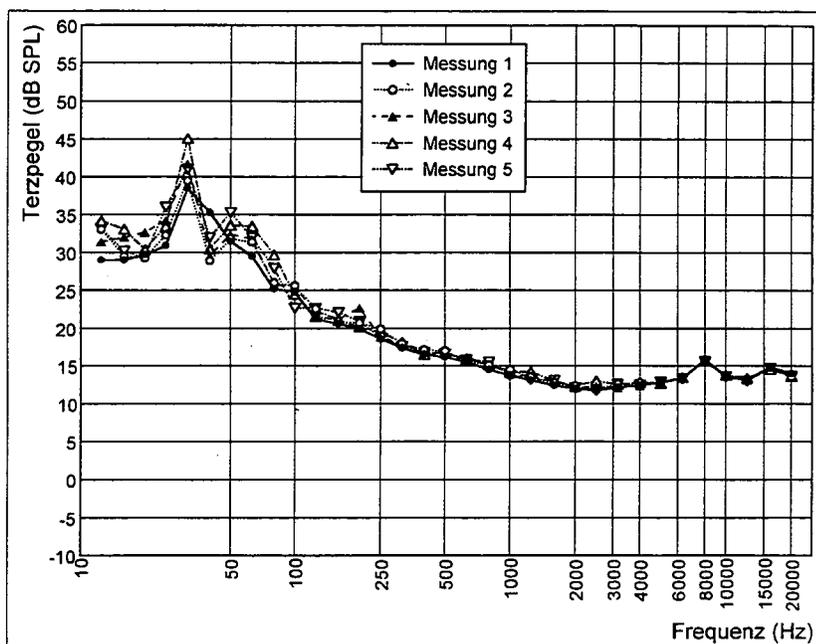


Abbildung 1: Hintergrundspektrum des schallarmen Labors, Terzpegel, fünf Messungen zu verschiedenen Tageszeiten mit Schallpegelmesser Quest 1800 und 1/3-1/1-Octave-Filter-Set OB-300 (Response: slow, weighting: linear).

Die tieffrequenten Schalleinstreuungen gehen auf eine verkehrsreiche Straße in der Nähe des Gebäudes zurück. Sie sind allerdings für den Normalhörigen nicht hörbar. Der Vergleich unserer Hörschwellenmessungen an Normalhörigen mit gleichartigen Hörschwellenmessungen in der Camera silens zeigt, daß an der Absoluthörschwelle keine Maskierung durch den Hintergrund vorliegt (s.u.).

II - 1.2 Apparatur

Im schallarmen Raum befinden sich neben der Bestuhlung für Proband (Pb) und Versuchsleiter (Vl) auf einem Arbeitstisch der Bildschirm, die Tastatur und der AD-DA-Wandler der Anordnung, die für die meisten Messungen verwendet wurde. Außerdem war für einige Messungen ein Lautsprecher (Visaton NF 400) inklusive Luxman-Verstärker aufgestellt. Der Steuerrechner und die externe Festplatte (beide geräuscherzeugend) der Rechnerkonfiguration zur Schalldarbietung sind im Nebenraum des Labors untergebracht und durch eine Bohrung durch die etwa 40 cm dicke Wand mit dem Equipment im Versuchsraum verkabelt.

Bei dem Rechner handelt es sich um einen ATARI MEGA STE-Rechner, für den von den Projektmitarbeitern Software zur Schalldarbietung und Datenregistrierung entwickelt worden ist ("Sampler" zur Schallaufzeichnung, -analyse, -manipulation und Wiedergabe, "Hörfeldaudiometrie" zur interaktiven Darbietungssteuerung und Datenregistrierung einer Hörschwellenmessung oder Hörfeldaudiometriesitzung oder Isophonenbestimmung, "Sprachaudiometrie" zur interaktiven Darbietungssteuerung und Datenregistrierung einer Sprachaudiometriesitzung, "Krach": Mehrzweck-Software zur interaktiv gesteuerten Darbietung von Audio-Samples). Die digitalen Audio-Files werden vom Rechner über den ROM-Port auf einen AD-DA-Wandler mit rechnersteuerbarem Abschwächer ausgegeben. Der zweikanalige AD-DA-Wandler (Eigenentwicklung) läßt sich mit unterschiedlichen Abtastraten

(maximal 50 kHz) betreiben. Alle hörfeldaudiometrischen Versuche wurden mit einer Abtastrate von 50 kHz ausgeführt.

Als Schallwandler wurden der offene Kopfhörer Jecklin Float Model 2 und der offene Kopfhörer AKG K 1000 eingesetzt. Letzterer ist aufgrund seines Aufbaus (maximale Abspreizung der beiden Lautsprecher) geeignet, mit und ohne Hörgerät (IdO, HdO) monaural zu untersuchen. Der Jecklin-Hörer läßt, wie sich herausstellte, nur Messungen mit IdO-Hörgeräten zu. Da die monaurale Prüfung der Lautheitsrehabilitation durch ein HdO-Gerät aber ein zentrales Anliegen unseres audiometrischen Ansatzes ist, gab dies Anlaß, vom Jecklin-Hörer, mit dem bisher gearbeitet worden war, auf den Hörer K 1000 umzusteigen, und erforderte neue Kalibrier-Messungen. Um sicherzugehen, wurde auch an einer zweiten Stichprobe die Bestimmung der Normlautheitsfunktionen wiederholt (s.u.). Das Signal für den K 1000-Hörer wurde mit einem AKG-K 1000-Amplifier verstärkt.

Für Lautsprecherdarbietungen wurde der genannte Nahfeldmonitor-Lautsprecher Visaton NF 400 auf einem in der Höhe justierbaren Stativ benutzt.

II - 1.3 Testschalle

Als Testsignale für die Hörfeldaudiometrie und die Hörschwellenmessungen dienten stochastisch im 10%-Band frequenzmodulierte Sinustöne (SFMS, Umschaltrate 100/s, lineare Überblendung der Frequenz, Ein- und Ausblendzeit 100ms). Phänomenal gehen sie von "unruhigen Tönen" im Tieftonbereich in eine Art "Zwitschern" im Hochtonbereich über. Diese Signale können aufgrund ihrer Bandbreite auch über Lautsprecher dargeboten werden, ohne daß stehende Wellen die Reproduzierbarkeit des Schallfelds nennenswert reduzieren. Sie haben gegenüber Schmalbandrauschen den Vorteil, daß die Amplitude konstant ist. Sie lassen sich über Generierung im Zeitbereich in jeder gewünschten Bandbreite herstellen. Alle SFMS-Signale wurden als "frozen noises" verwendet. In Abbildung 2 sind die Dauer-Leistungsspektren für eine Auswahl der verwendeten SFMS-Signale zu sehen.

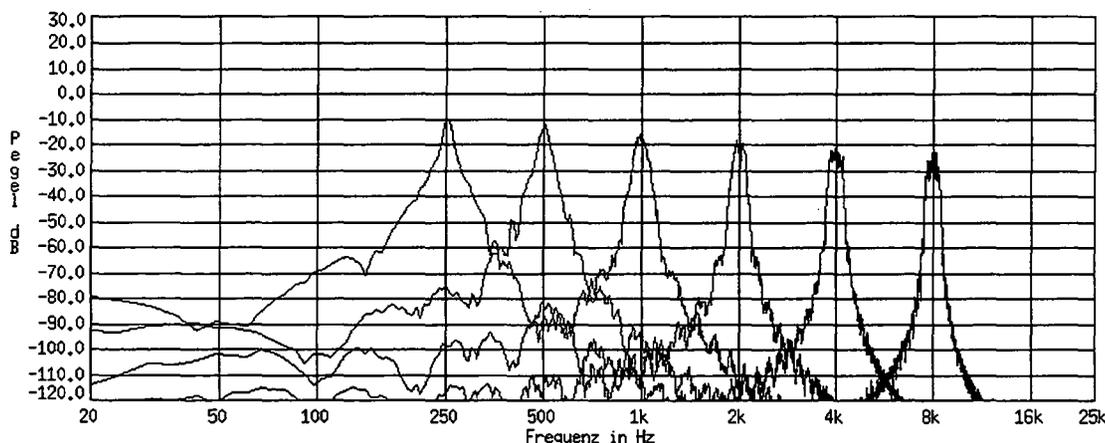


Abbildung 2: Dauer-Leistungsspektren (sieben 50%-überlappende Hann-gefensterte 8192-Punkte-FFT) für die SFMS-Signale mit den Mittenfrequenzen .25, .5, 1, 2, 4 und 8 kHz.

II - 1.4 Psychoakustische Kalibrierung des Jecklin-Kopfhörers

In der Anfangsphase des Projekts arbeiteten wir mit dem Jecklin-Kopfhörer. Die Signaldarbietung wurde anhand einer psychoakustischen Meßreihe kalibriert, in der vier Pbn bei den Mittenfrequenzen .1, .16, .25, .31, .5, .71, 1, 1.4, 2, 2.45, 3, 3.45, 4, 4.9, 6, 7, 8 und 10 kHz die Lautheit von SFMS-Signalen, die mit 70 dB SPL über Lautsprecher (Visaton NF 400) geboten wurden, im Eingabelungsverfahren mit der Lautheit der Kopfhörerdarbietung abglichen. Die Kalibrierdaten wurden später durch die Kalibrierung ersetzt, die sich bei einer Meßreihe an einer größeren Pbn-Zahl ergeben hatte, wobei der Gehörgangseingangspegel als Abgleichsparameter benutzt wurde (s.u.). Wir teilen die Ergebnisse der psychoakustischen Meßreihe dennoch mit, da sie einen Einblick in die Problematik von Kalibriermessungen an wenigen Köpfen oder gar nur einem Kunstkopf gibt.

Das Testsignal wurde im schallarmen Labor abwechselnd auf den Lautsprecher und den Kopfhörer gegeben. Ein Darbietungszyklus umfaßte vier Darbietungen, z.B. Lautsprecher - Kopfhörer - Lautsprecher - Kopfhörer. Der Zeittakt war so eingerichtet, daß der Pb während der Darbietungspause bequem den Jecklin-Hörer ab- bzw. aufsetzen konnte. Die Aufgabe des Pb war festzustellen, ob die Darbietungen 2 und 4 lauter, gleich laut oder leiser als die

Darbietungen 1 und 3 waren. Die Lautsprecherwiedergabe war auf 70 dB SPL eingemessen und fix. Der Pegel der Kopfhörerdarbietung wurde variabel nach dem Meßschema des Eingabelungsverfahrens gewählt (Schritte 12 dB, 6 dB, 1 dB). Um die konstanten Fehler, die auf die Abfolge der beiden Schallwandler und die Eingabelungsrichtung zurückgehen, zu kontrollieren, wurden folgende vier Darbietungsarten realisiert:

1. Lautsprecher - Kopfhörer, initial absteigende Kopfhörerpegel
2. Lautsprecher - Kopfhörer, initial ansteigende Kopfhörerpegel
3. Kopfhörer - Lautsprecher, initial absteigende Kopfhörerpegel
4. Kopfhörer - Lautsprecher, initial ansteigende Kopfhörerpegel

Die Punkte subjektiver Gleichheit (PSG) wurden über die Mittelung der Gleichbereichsränder (letzter „Gleich-laut“-Pegel) über die vier Darbietungsvarianten gewonnen. In die Meßreihe wurden drei Exemplare des Jecklin-Hörers aufgenommen (Jecklin 1, 5 und 8), um die Übereinstimmung des jeweils abgestrahlten Schalls zu prüfen.

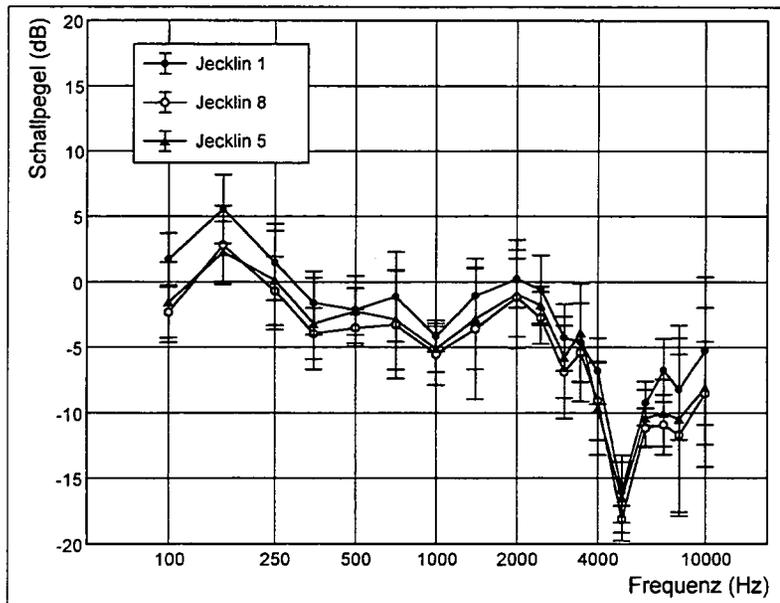


Abbildung 3: Über die vier Pbn gemittelte inverse Entzerrungsfunktionen für die drei Jecklin-Exemplare, Standardabweichung der Mittelwerte.

Abbildung 3 zeigt für die drei Jecklin-Hörer die mittleren inversen psychoakustischen Entzerrungsfunktionen. Sie stimmen weitgehend überein. Bei der Signalfrequenz 4,9 kHz zeigt sich eine deutliche Senke des Hörers. Die Standardabweichungen der Funktionen lassen erkennen, dass zwischen den Pbn größere Unterschiede bestehen als zwischen den Kopfhörern. Dies tritt klarer in Abbildung 4 hervor.

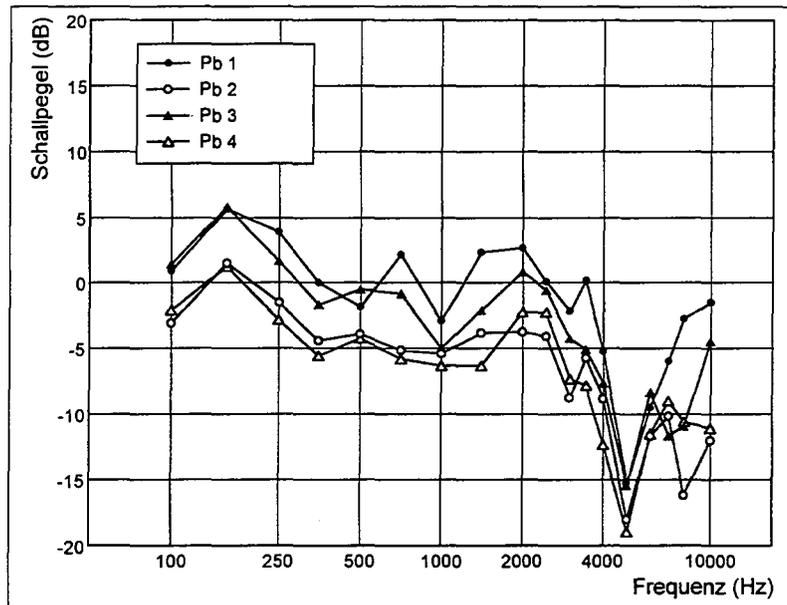


Abbildung 4: Über die drei Kopfhörerexemplare gemittelte inverse Entzerrungsfunktionen je Pb.

Die Entzerrungsfunktionen der vier Pbn weichen nicht nur im Hochtonbereich voneinander ab. Dieser Sachverhalt und die Tatsache, daß Normschwellen- oder Normisophonendaten, die an einer großen Pbn-Gruppe ermittelt wurden, frequenzabhängig unplausible lokale Minima und Maxima zeigen, wenn die Pegel auf der 4-Pbn-Kalibrier-Messung beruhen, gaben den Ausschlag, eine Kalibriermeßreihe mit einer größeren Pbn-Zahl auszuführen. Als Abgleichparameter diente hierfür der Gehörgangseingangspegel. Über die Untersuchung, in die auch der Kopfhörer AKG K 1000 einbezogen wurde, berichten wir im folgenden Abschnitt.

II - 1.5 Physikalische Kalibrierung der Kopfhörer Jecklin und AKG K 1000

Zwölf Pbn wurden im schallarmen Labor der Reihe nach über eine Monitor-Box (Visaton NF 400), über Jecklin Float Model 2 und über AKG K 1000 mit digital weißem Rauschen beschallt. Die Box-Beschallung wurde am Kopfort (100 cm Abstand zur Box, Substitutionsmessung) auf 75 dB SPL eingepgelt. Der Pb wurde so vor den Lautsprecher gesetzt, daß seine Gehörgangseingänge 100 cm Abstand zur Box-Front hatten (Schalleinfallrichtung 0°). Die Schallimmission an der Gehörgangsöffnung wurde mit einer Rastronics-in-situ-Mikrophon-Einrichtung registriert. Abgegriffen wurde lediglich das Signal des In-situ-Mikrophons. Der Sondenschlauch wurde in Ohrnähe mit Leukoplast so auf die Wange geklebt, daß er mit seinem Ende quer zur Gehörgangsschnecke in die Mitte des Gehörgangseingangs ragte. Bei der Befestigung wurde darauf geachtet, daß die Schlauchlage trotz der Erschütterungen stabil war, die bei Kopfbewegungen oder dem Auf- und Absetzen eines Kopfhörers auftreten.

Als Testsignal wurde ein einsekündiges Sample weißes Rauschen (16Bit, Abtastfrequenz 35714 Hz, frozen noise) eingesetzt, daß vom ATARI Mega STE-Rechner über DA-Wandler entweder auf die Kombination Luxman-Verstärker+Visaton-Box oder die Kombination K 1000 + K 1000-Amplifier oder auf den Jecklin-Hörer gegeben wurde. Das Mikrophonsignal wurde nach Vorverstärkung AD-gewandelt und zeitgleich digital aufgezeichnet.

Die Messungen hatten zwei Ziele:

1. Ermittlung der Entzerrungsfunktionen für beide Kopfhörer über die entsprechenden Leistungsübertragungsfunktionen.
2. Ermittlung der inter- und intraindividuellen Schallimmissionsvarianz bei Lautsprecher- und den beiden Kopfhörerbeschallungen.

Im einzelnen wurden folgende Aufzeichnungen an jedem Pb ausgeführt (unter M ist jeweils das Dauerleistungsspektrum der aufgezeichneten Samples zu verstehen):

1. 3 Box-Beschallungen ($M_{\text{Ohr, Box, Sonde}}$)
2. 3 Jecklin-Beschallungen mit zwischenzeitlichem Ab- und Wiederaufsetzen des Kopfhörers, wobei der V1 auf korrekten Sitz des Kopfhörers achtete ($M_{\text{Ohr, Jecklin, Sonde}}$)

3. 3 K 1000-Beschallungen mit zwischenzeitlichem Ab- und Wiederaufsetzen inklusive Sitzkontrolle ($M_{\text{Ohr, K 1000, Sonde}}$)

Ohne Pb-Kopf wurden folgende Beschallungen aufgezeichnet:

1. In-situ-Mikrofon in 100 cm Abstand von der Box; Schlauchende an der Front des 1/2-Zoll-Freifeld-Mikrophons des Pegelmessers befestigt, der zur Einmessung auf 75 dB SPL benutzt wurde (Airflow Quest 1800) ($M_{\text{Feld, Box, Sonde}}$)
2. 1-Zoll-Freifeld-Mikrofon (abszissenparallele Leistungsübertragungsfunktion) des Pegelmessers Bruel&Kjaer 2203R in 100 cm Abstand von der Box ($M_{\text{Feld, Box, linMikro}}$).

II - 1.5.1 Ermittlung der Entzerrungsfunktionen

Einen Kopfhörer freifeldentzerren heißt, Schall so übertragen, daß das Leistungsspektrum des über Kopfhörer gebotenen Schalls am Gehöreingang mit dem Leistungsspektrum bei Freifeldbeschallung übereinstimmt. Die entsprechende Entzerrungsfunktion erhält man, in dem man die Leistungsübertragungsfunktion zwischen freiem Schallfeld und Schallfeld am Gehörgangseingang des im Freifeld sitzenden Menschen durch die Leistungsübertragungsfunktion des Kopfhörers am Ohr dividiert. Die zuerst genannte Leistungsübertragungsfunktion spiegelt die Schallfeldmodifikation durch die Morphologie des Rumpfes, des Kopfes und des Außenohrs wieder. Wir nennen sie der Einfachheit halber \ddot{U}_{Kopf} . Die Leistungsübertragungsfunktionen der beiden Kopfhörer heißen $\ddot{U}_{\text{Jecklin}}$ und \ddot{U}_{K1000} . Außerdem haben wir es mit zwei weiteren Übertragungsfunktionen zu tun: der Leistungsübertragungsfunktion des In-situ-Mikrophons, $\ddot{U}_{\text{insitu-Mikro}}$ und der Übertragungsfunktion der Kombination aus Lautsprecher und Untersuchungsraum. Wir nennen sie \ddot{U}_{Box} . Das Testsignal ist zwar ein einsekündiges digitales weißes Rauschen mit weitgehend abszissenparallelem Dauer-Leistungsspektrum. Wir setzen es aber dennoch nicht 1, sondern als $LS_{\text{digweiRau}}$ an.

Im übrigen wird davon ausgegangen, daß keine nichtlinearen Prozesse in den betrachteten elektrischen bzw. akustischen Übertragungen vorkommen. Dann können wir die fünf Messungen wie folgt als Produkte des Leistungsspektrums des digitalen weißen Rauschens mit den Übertragungsfunktionen der Signalwandlungen ansetzen.

$$M_{\text{Ohr,Box,Sonde}} = LS_{\text{digweiRau}} \cdot \ddot{U}_{\text{Box}} \cdot \ddot{U}_{\text{Kopf}} \cdot \ddot{U}_{\text{insituMikro}}$$

$$M_{\text{Ohr,Jecklin,Sonde}} = LS_{\text{digweiRau}} \cdot \ddot{U}_{\text{Jecklin}} \cdot \ddot{U}_{\text{insituMikro}}$$

$$M_{\text{Ohr,K1000,Sonde}} = LS_{\text{digweiRau}} \cdot \ddot{U}_{\text{K1000}} \cdot \ddot{U}_{\text{insituMikro}}$$

$$M_{\text{Feld,Box,Sonde}} = LS_{\text{digweiRau}} \cdot \ddot{U}_{\text{Box}} \cdot \ddot{U}_{\text{insituMikro}}$$

$$M_{\text{Feld,Box,linMikro}} = LS_{\text{digweiRau}} \cdot \ddot{U}_{\text{Box}}$$

Die Entzerrungsfunktionen der beiden Kopfhörer ergeben sich als:

$$E_{\text{Jecklin}} = \ddot{U}_{\text{Kopf}} / \ddot{U}_{\text{Jecklin}} = (M_{\text{Ohr,Box,Sonde}} \cdot LS_{\text{digweiRau}}) / (M_{\text{Ohr,Jecklin,Sonde}} \cdot M_{\text{Feld,Box,linMikro}})$$

$$E_{\text{K1000}} = \ddot{U}_{\text{Kopf}} / \ddot{U}_{\text{K1000}} = (M_{\text{Ohr,Box,Sonde}} \cdot LS_{\text{digweiRau}}) / (M_{\text{Ohr,K1000,Sonde}} \cdot M_{\text{Feld,Box,linMikro}})$$

Die Inversen der Entzerrungsfunktionen geben an, welche Schallmodifikation die Kopfhörerbeschallung gegenüber der Freifeldbeschallung (Box- und Raum-Übertragungsfunktion eliminiert) darstellt.

Die Übertragungsfunktion von Rumpf, Kopf und Außenohrbeschaffenheit ergibt sich als:

$$\ddot{U}_{\text{Kopf}} = M_{\text{Ohr,Box,Sonde}} / M_{\text{Feld,Box,Sonde}}$$

Die Berechnung der Dauer-Leistungsspektren geschah folgendermaßen: ein Hann-gewichtetes 512-Punkte-Fenster wurden mit 50% Überlappung über das Sample geschoben, jeweils über FFT das Leistungsspektrum berechnet und die Leistungswerte (Quadrat der Fouriertransformierten) je Frequenzstützstelle gemittelt.

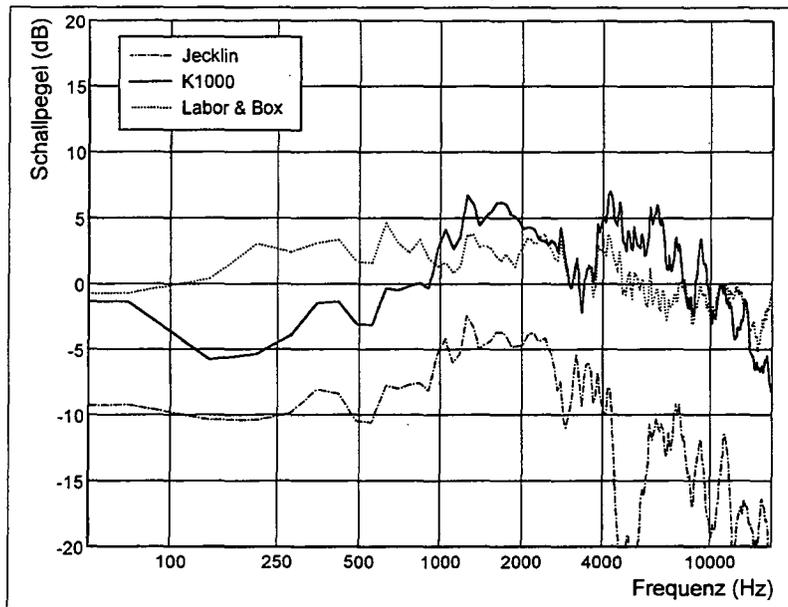


Abbildung 5: Inverse der Freifeldentzerrungsfunktionen: Jecklin, K 1000 und Lautsprecher.

Um die einzelnen Messungen adäquat auf den Pegel 75 dB SPL des über Lautsprecher gebotenen Rauschens beziehen zu können, wurde das Dauer-Leistungsspektrum des digitalen weißen Rauschens (zunächst bezogen auf 0 dB = digitaler RMS-Wert 1) um den entsprechenden frequenzunabhängigen Faktor so transformiert, daß dieses Leistungsspektrum die gleiche Leistungssumme über die Frequenzbänder aufwies wie das Dauer-Leistungsspektrum des ohne Kopf über den Lautsprecher abgestrahlten Signals, das mit dem Bruel&Kjaer-Mikrophon aufgezeichnet wurde ($M_{\text{Feld, Box, linMikro}}$).

Abbildung 5 zeigt die für die Kopfhörer Jecklin und AKG K1000 und die Lautsprecherbeschallung ermittelten Entzerrungsfunktionen (interindividuelle Pegelmittelung) invers. Es ist also ersichtlich, welche spektralen Veränderungen die drei Wandler gegenüber dem Freifeld erzeugen. Da der stark zerklüftete Teil der Leistungsübertragungsfunktion im Frequenzbereich oberhalb von 1 kHz, der interindividuell in der Lage der lokalen Minima und Maxima deutlich streut, durch interindividuelle Pegelmittelung nicht adäquat wiedergegeben wird, außerdem der Frequenzgang des Bruel&Kjaer-Mikrophons vereinfachend als konstant 0 dB angenommen wurde, unterzogen wir die Entzerrungsfunktionen einer Glättung über gleitende Mittelung. Hierfür wurde in 60 sukzessiven Mittelungsschritten jeder Stützwert durch das Mittel aus dem Wert selbst und der beiden Nachbarwerte ersetzt. Das Resultat zeigt Abbildung 6. Die beiden Kopfhörerbedingungen heben gegenüber dem Freifeld oberhalb von 1 kHz etwas an. Der Jecklin-Hörer zeigt um 5 kHz eine deutliche Senke, die auch bei der psychoakustischen Kalibrierung festgestellt worden war. Die Kombination Lautsprecher + Raum zeigt eine weitgehend abszissenparallele Leistungsübertragungsfunktion. Die unterschiedlichen Niveaus der Entzerrungsfunktionen sind im Zusammenhang mit unserer Apparatur zu verstehen. Bei gleicher Ausgabe des Rechners auf den DA-Wandler ergeben sich über die verschiedenen Verstärker und Wandler unterschiedliche Schalleistungen.

Die intra- und interindividuelle Übereinstimmung der ermittelten Übertragungsfunktionen läßt sich anhand der nachfolgend berichteten Streuungsanalysen ersehen.

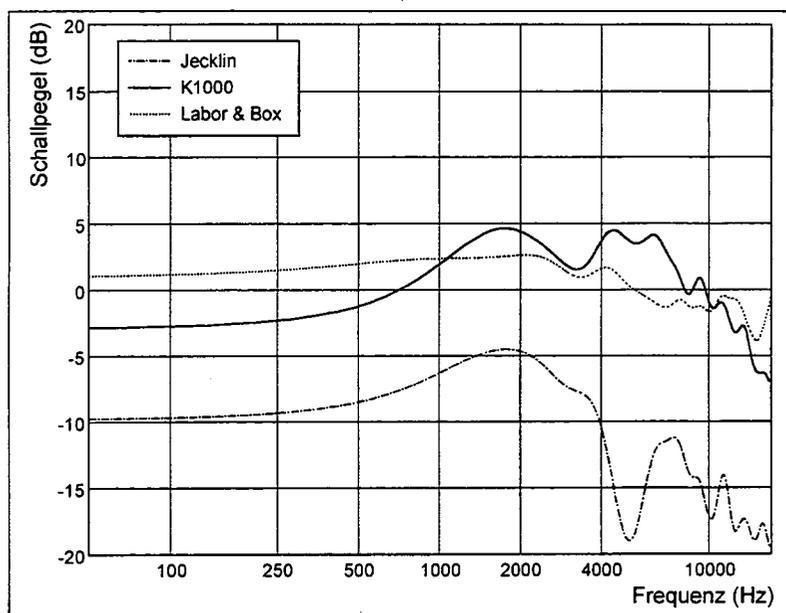


Abbildung 6: Gleitend gemittelte inverse Entzerrungsfunktionen für Jecklin-, K 1000- und Lautsprecherbeschallung.

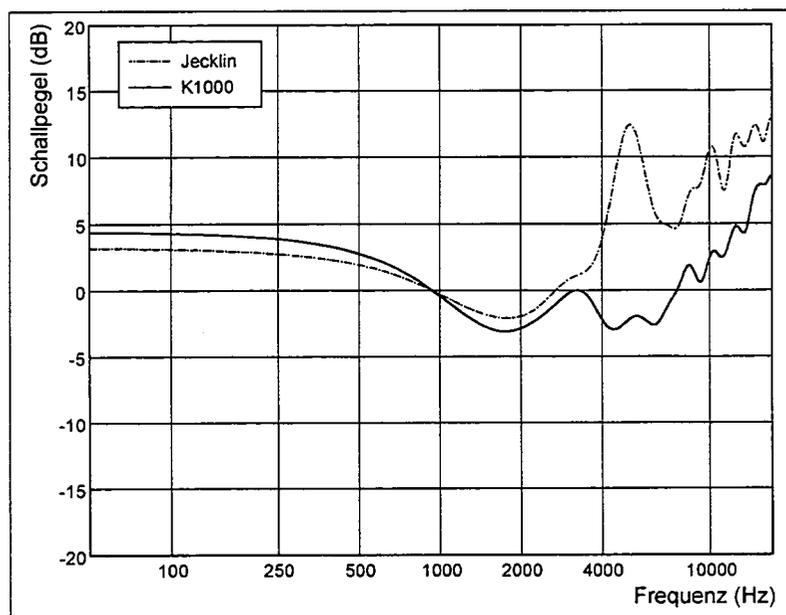


Abbildung 7: Freifeld-Entzerrungsfunktionen für den K 1000- und den Jecklin-Hörer.

In Abbildung 7 sind für die beiden verwendeten Kopfhörer die Freifeldentzerrungsfunktionen dargestellt. Wenn ein schmalbandiges Signal (z.B. Sinus, 10%-Rauschen) mit der Mittenfrequenz 1 kHz mit dem Freifeldpegel 75 dB SPL über den **Jecklin-Kopfhörer** dargeboten werden soll, so muß die Spannung 98 mV anliegen. Beim **K1000-Hörer** müssen bei 1 kHz für den gleichen Freifeldpegel 1000 mV anliegen.

Um für die in der Hörfeldaudiometrie eingesetzten schmalbandigen Testgeräusche (stochastisch im 10%-Band frequenzmodulierte Sinustöne, Umschaltrate 100/s: SFMS) Korrekturpegel zur kalibrierten Darbietung zu erhalten, wurden aus den Inversen der Entzerrungsfunktionen über FFT die entsprechenden Impulsantworten bestimmt und alle Testsignale mit diesen Impulsantworten gefaltet. Der Quotient der RMS-Werte von digitalem Original und gefaltetem Signal ergibt den jeweiligen Korrekturfaktor. Der Korrekturpegelsatz für die Testsignale ist in Tabelle 1 je Kopfhörer aufgeführt.

Tabelle 1: Korrekturpegel für schmalbandige Signale (< 10%) relativ zu 1kHz = 0 dB je Kopfhörer.

Frequenz	Jecklin	K 1000	Frequenz	Jecklin	K 1000	Frequenz	Jecklin	K 1000
100	3.5	4.9	1000	0.0	X 0.0	4000	4.7	X -1.5
160	3.3	4.7	1400	-1.3	-1.9	4900	12.6	-1.5
250	3.1	4.4	2000	-1.3	X -1.9	6000	7.4	-1.7
350	2.7	3.9	2450	-0.1	-0.8	7000	5.4	-0.3
500	2.2	X 3.2	3000	1.4	0.7	8000	6.6	2.1
710	1.3	1.8	3450	2.1	0.4	10000	10.8	3.2

II - 1.5.2 Intra- und Interindividuelle Pegelstreuung der Gehörgangsimmission

Die Messungen nach mehrfachem Auf- und Absetzen der Kopfhörer bei den zwölf Pbn erlaubt die Abschätzung der intraindividuellen Reproduzierbarkeit des Schallfelds am Gehöreingang. Auch für die Lautsprecherbedingung wurde frequenzabhängig die intraindividuelle Standardabweichung des Gehöreingangspegels ermittelt. Die mittleren intraindividuellen Streuungen zeigt Abbildung 8

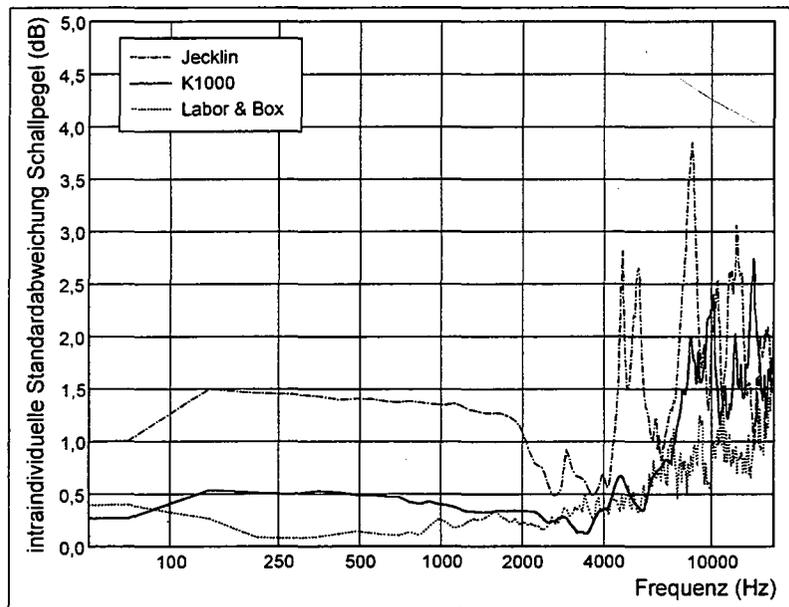


Abbildung 8: Mittlere intraindividuelle Streuung (Standardabweichung, 12 Pbn, je 3 Messungen) des Gehörgangseingangsschallpegels bei den Wandlern Jecklin, K 1000 und Lautsprecher.

Der Jecklin-Hörer weist die höchsten intraindividuellen Immissionsstreuungen auf. Der K 1000-Hörer liegt bis 6 kHz nur geringfügig über den Werten der Lautsprecherbeschallung. Dies bedeutet für den intraindividuellen Fall, daß der Jecklin-Hörer weitgehend, der K 1000-Hörer nahezu die gleiche Reproduzierbarkeit des Schallfelds aufweist wie die Lautsprecher-Beschallung. Zu dieser ist anzumerken, daß die Pbn angewiesen waren, den Kopf strikt gerade aus auf den Lautsprecher gerichtet zu halten. Auch schon geringfügige Kopfbewegungen, die bei Kopfhörerbeschallung ohne Folgen bleiben, würden bei Schallabstrahlung aus dem Lautsprecher zu deutlichen Variationen der Gehörgangseingangspegel im Hochtonbereich führen. Zieht man dies in Betracht, so gibt das intraindividuelle Reproduzierbarkeitskriterium den Ausschlag für den Kopfhörer, und zwar besonders für den K 1000-Hörer.

Das Ergebnis der interindividuellen Streuungsberechnungen zeigt Abbildung 9. Die Inter-Streuungen liegen deutlich höher als die Intra-Streuungen. Die Dispersionen liegen für den K 1000-Hörer bis 1 kHz in der Nähe der Lautsprecherwerte, zwischen 1 und 4 kHz realisiert der Lautsprecher ein interindividuell variables Schallfeld am Ohr als der K 1000, da bei diesem die Varianz der Schalldiffraction an Rumpf und Kopf wegfallen. Der Jecklin-Hörer weist in diesem Frequenzbereich ebenfalls günstigere Werte auf als der Lautsprecher, liegt allerdings bis 1 kHz deutlich

über dem Lautsprecher. Oberhalb von 4 kHz steigen bei allen drei Wandlern die Inter-Streuungen an, stärker bei den Kopfhörern als beim Lautsprecher. Die Analyse ergibt, daß zumindest der K 1000-Hörer dem Lautsprecher an interindividueller Reproduzierbarkeit kaum nachsteht. Der Jecklin-Hörer liegt etwas ungünstiger. Allerdings ist - wie oben angesprochen - zu bedenken, daß in der Lautsprecherbedingung der Abstand zur Box exakt kontrolliert war. Ist diese präzise Positionierung vor dem Lautsprecher nicht gegeben, so dürfte das realisierte Schallfeld am Ohr interindividuell deutlich stärker streuen.

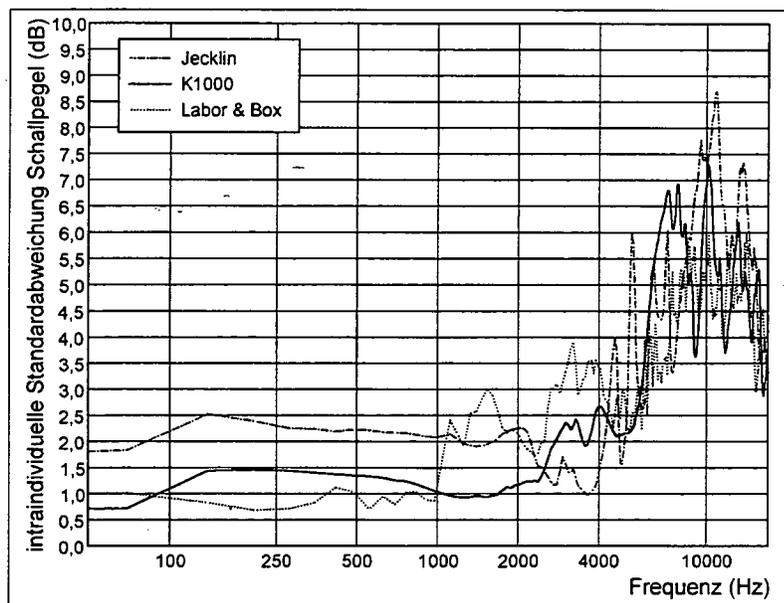


Abbildung 9: Interindividuelle Streuung (Standardabweichung der intraindividuellen Mittelwerte, 12 Pbn) des Gehörgangseingangsschallpegels bei den Wandlern Jecklin, K 1000 und Lautsprecher.

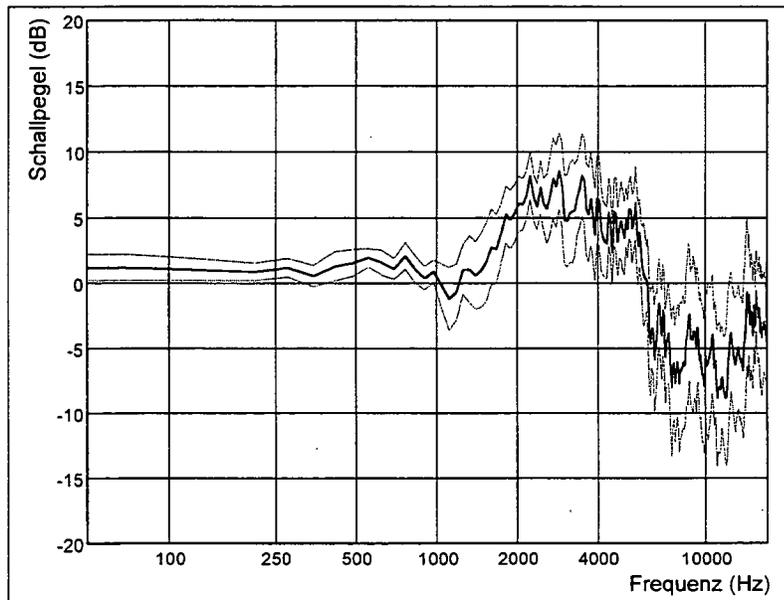


Abbildung 10: Effekt von Rumpf, Kopf und Außenohr auf den Gehöreingangspegel bezogen auf das Schallfeld ohne Pb ($\bar{U}_{\text{Kopf}} = M_{\text{Ohr,Box,Sonde}} / M_{\text{Feld,Box,Sonde}}$). Der Bereich von +/- 1 Standardabweichung um die Mittelwerte ist eingezeichnet.

In Abbildung 10 zeigen wir den mittleren Effekt von Rumpf, Kopf und Außenohr. Zusätzlich ist der Bereich plus eine / minus eine Standardabweichung gekennzeichnet. Die Schallfelder am Gehörgangseingang weichen oberhalb von 1 kHz deutlich vom freien Schallfeld ab und streuen interindividuell stärker als im niederfrequenten Bereich.

In Abschnitt II-8 berichten wir über Messungen zum bei asymmetrischem Hörverlust kritischen Überhörabstand.

II - 2 Normlautheitsfunktionen

Der folgende Kapitel stellt die Ergebnisse von Untersuchungen dar, die zur Gewinnung von Normlautheitsfunktionen durchgeführt wurden.

II - 2.1 Skalierungstechnik

Die Hörfeldaudiometrie ist ein audiometrisches Verfahren, das den Lautheitsverlust im überschwelligen Hörfeld - aufgespannt durch Frequenz und Schallpegel oder phänomenal: durch Tonhöhe und Lautheit - quantifiziert, um ein Gehör pegel- und frequenzspezifisch zu beschreiben. Der Pb skaliert die Lautheit von schmalbandigen Geräuschen, die in Pegel und Frequenz das Hörfeld abdecken, anhand des Kategorienunterteilungsverfahrens (KU-Verfahren, Heller, 1985). Jedes Geräusch wird nach der ersten Darbietung als „sehr leise“, „leise“, „mittel“, „laut“ oder „sehr laut“ kategorisiert, nach der zweiten Darbietung in seiner Lautheit anhand derjenigen Zahl der jeder Kategorie zugeordneten Dekade eingestuft, die die Lautheitswahrnehmung am besten trifft. Die Zweistufigkeit des KU-Verfahrens bietet einerseits eine hohe Auflösung der Lautheitsdimension, berücksichtigt andererseits, daß ein ungeübter Pb nur eine geringe Zahl von Kategorien für erlebte Ausprägungen einer Eigenschaft überblicken kann. Das KU-Verfahren spiegelt in seinem Aufbau (Symmetrie, Äquidistanz der kategorialen Bereiche, Auflösung der Dimension) die Struktur des Bezugssystems wieder, als dessen Leistung die Fähigkeit zur absoluten Beschreibung einer Eigenschaft verstanden wird (Witte, 1960, 1966, 1975).

	53
	52
	51

	50
	49
	48
	47
	46
sehr laut	45
	44
	43
	42
	41

	40
	39
	38
	37
	36
laut	35
	34
	33
	32
	31

	30
	29
	28
	27
	26
mittel	25
	24
	23
	22
	21

	20
	19
	18
	17
	16
leise	15
	14
	13
	12
	11

	10
	9
	8
	7
	6
sehr leise	5
	4
	3
	2
	1

nichts gehört	0

Abbildung 11: Kategorienunterteilungsskala für Lautheit.

Neben dieser Isomorphie des Beschreibungsinstrumentes und der zu beschreibenden Gegenstände - diese Forderung schließt ein, daß die Eigenschafts- (Lautheits-)ausprägungen, die auf der Skala stehen, auch tatsächlich geboten werden (s.u.) - sind zwei weitere Bestandteile der Meßvorschrift wesentliche Voraussetzungen für adäquate Wahrnehmungsbeschreibungen (Heller 1985): Der Pb muß über die Lautheitsmannigfaltigkeit orientiert sein, und er muß extraspektiv instruiert werden. Deshalb wird dem Pb zu Beginn der Hörfeldaudiometrie eine

Reihe von Geräuschen geboten, die von „sehr leise“ bis „sehr laut“ variieren, anhand derer sich der Pb versichert, daß er mit Lautheitsausprägungen vertraut ist. Zudem fragt der Versuchsleiter (Vl) bei den einzelnen Testgeräuschen danach, „wie laut das Geräusch ist“ (normalhöriger Pb) bzw. „wie laut der Pb das Geräusch hört“ (schwerhöriger Pb), nicht etwa, wie laut das Geräusch auf diesen wirke, oder wie laut dieser das Geräusch einschätze. Die Begriffe „wirken“ bzw. „einschätzen“ legen eine introspektive Haltung nahe. Der Pb soll aber beschreiben, nicht über Beschreibung oder Erleben reflektieren.

Die einleitende Lautheitsorientierung darf nicht als Training instruiert werden, in dem der Pb zu lernen habe, was im Versuch als laut und leise gelte. Würde der Pb so in die hörfeldaudiometrische Sitzung eingeführt, dann hätte die Orientierungsphase ihr Ziel völlig verfehlt. Sie würde im Gegenteil der Neuorientierung an der gebotenen Serie (Skalierungsartefakt bei Wahrnehmungsmessungen, s.u.) statt der Aktualisierung der Lautheitsgrade, die unser Gehör zwischen „eben hörbar“ und „schmerzhaft laut“ bietet, Vorschub leisten. Die erforderliche Versuchshaltung läßt sich herstellen, wenn man den Pb vor der Darbietung der orientierenden Geräusche instruiert, daß er jetzt Gelegenheit erhalte, sich zu vergewissern, daß er sich mit „sehr leise“, „leise“, „mittel“, „laut“, „sehr laut“ auskenne.

Die Reihenfolge der Testgeräusche wird in Pegel und Frequenz so gewählt, daß die Lautheiten und Tonhöhen in kurzen Zyklen den gesamten Bereich zwischen den Ausprägungsextremen überstreichen. Dies beugt während der Lautheitseinstufungen dem genannten Effekt vor, daß der Pb sich an einem artifiziellen Lautheitsausschnitt neuorientiert (Ausschnitt-Effekt, Parducci & Perrett 1971), was eine Verzerrung der Lautheitseinstufungen zur Folge hätte. Der Ausschnitt-Effekt wird verstärkt, wenn eine Durchmischung der Frequenzen bei der Geräuschabfolge fehlt (Fichtl, in Vorbereitung). Die Pegeluntergrenze für die Testgeräusche ergibt sich aus der Hörschwelle, die vor den Lautheitseinstufungen bestimmt wurde. Die Obergrenze ist beim normalhörigen Pb durch die Normlautheitsfunktionen (s.u.) gegeben. Beim schwerhörigen Pb gestaltet der Vl die Pegelfolge adaptiv anhand der bisherigen Einstufungen, um einer Ausschnittorientierung zuvorzukommen.

Ziel der vorgeschlagenen Skalierungstechnik ist die monaurale Untersuchung eines einzelnen normal- oder schwerhörigen Pb auf Übereinstimmung bzw. Abweichung von der monauralen Normfunktion bei minimalem variablem (Reliabilitätskriterium) und systematischem Fehler (Validitätskriterium).

Die Problematik der Orientierung, der Reizabfolge und generell des Serienversuchs wird in Abschnitt II-6 eingehender behandelt. In Abschnitt II-9 berichten wir Untersuchungen zum Einsatz der contralateralen Maskierung in der Hörfeldaudiometrie.

II - 2.2 Meßprogramme

Eine Standard-Hörfeldaudiometriemessung umfaßt die Hörschwellenmessung im absteigenden Eingabelungsverfahren und die Untersuchung bei den Testfrequenzen .25, 5, 1, 2, 3, 4, 6 und 8 kHz mit jeweils fünf überschwelligen Pegeln, die das Lautheitskontinuum abdecken. Die Darbietungen erfolgen ohne Hintergrundgeräusch. Die Untersuchung beider Ohren dauert etwa 60 Minuten. Fast die Hälfte der Zeit geht zu Lasten der sorgfältig bestimmten Hörschwelle.

Als Mithörfeldmessung bezeichnen wir eine Hörfeldaudiometrie, in der alle Signale in einem maskierenden Hintergrund geboten werden. Zweck ist entweder die Messung der Lautheitsdrosselung durch den Hintergrund (so bei dem in unserer Sprachaudiometrie eingesetzten Stimmengewirr) oder das Standardisieren des akustischen Hintergrunds in einer Meßumgebung mit fluktuierendem Hintergrund (Reihenuntersuchung im Audiomobil). Als Hintergrund wurde neben dem Stimmengewirr, für das Normlautheitsfunktionen für binaurale und monaurale Beschallung mit 50 und 70 dB bei monauraler Signaldarbietung ermittelt wurden, weißes Rauschen eingesetzt. Über die Ergebnisse dieser Untersuchungen muß an anderer Stelle berichtet werden.

Eine dritte Variante stellt ein von uns Kurzhörfeldaudiometrie bezeichnetes Meßprogramm dar. Auf die Hörschwellenmessung wird verzichtet, und der Testfrequenzensatz mit weniger Pegeln untersucht. Bei .25 und 8 kHz sind es 2 oder 3 Pegel, bei den übrigen Frequenzen 4. In den durchgeführten Reihenuntersuchungen hat sich dieses Kurzverfahren (Dauer für die Untersuchung eines Ohrs: 8 Minuten) als adäquate Screening-Technik erwiesen.

II - 2.3 Gleichung zur Modellierung der Lautheitsfunktion

Zur Interpolation, teilweise zu Extrapolation von hörfeldaudiometrischen Daten wird eine Funktionsgleichung benötigt, die die Lautheitsfunktion möglichst gut modelliert. Sieht man von extrem leisen und extrem lauten Geräuschen ab, so kann das Fechnersche Gesetz als erste Näherung dazu dienen:

$$E = a \cdot \log\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

Hierbei ist E die Empfindungsstärke, in unserem Fall die Lautheit, a ein Skalenfaktor, in dem sich, wenn E in Ebenmerklichkeitsschritten quantifiziert ist, die Unterschiedsempfindlichkeit des Sinnesorgans niederschlägt, S die Reizintensität und S_0 die Referenzintensität. Über der deziBel-Abszisse ($10 \cdot \log$ des Intensitätenverhältnisses) entspricht dieser Gleichung die Anpassung der linearen Funktion an Lautheitsdaten. Fechner selbst räumte in der Domäne der äußeren Psychophysik (Frage nach dem Zusammenhang zwischen physikalischer Intensität und Empfindungsstärke) dieser psychophysikalischen Funktionsgleichung nur Gültigkeit in einem mittleren Bereich ein. An der Wahrnehmungsschwelle weichen empirische und nach dem Fechnerschen Gesetz zu erwartende Werte deutlich voneinander ab.

Fechner hatte seiner Funktionsgleichung die Gültigkeit des Weberschen Gesetzes zugrundegelegt. Dem Manko der Fechnerschen Gleichung an der Hörschwelle läßt sich abhelfen, wenn man den Weber-Bruch

$$\frac{\Delta S}{S} = \text{constant}$$

(ΔS der Reizzuwachs, S die Intensität des Ausgangsreizes), der im physikalischen Maß angibt, wie eine ebenmerkliche Erhöhung der Empfindungsstärke zu erreichen ist, so modifiziert, daß die Intensität eines akustischen oder organismischen, maskierenden Hintergrundrauschens R miteinbezogen wird:

$$\frac{\Delta S}{S + R} = \text{constant}$$

Nowak (unveröffentlicht) leitete aus dieser Variante des Weber-Bruchs folgende modifizierte Fechner-Gleichung ab:

$$E = c \cdot \log\left(\frac{S + R}{R}\right)$$

Im dB-Lautheitskoordinatensystem schneidet der Funktionsgraph dieser Gleichung die Abszisse nicht bei der Lautheit 0, sondern geht asymptotisch in sie über. In Hörschwellenferne hat der Funktionsgraph die gleiche Form (lineare Beziehung zwischen Lautheit und Schallpegel) wie Fechners ursprüngliche Gleichung es postuliert. Mit dieser modifizierten Fechner-Funktion lassen sich Lautheitsdaten nicht nur im mittleren Gültigkeitsbereich, sondern auch in Hörschwellennähe gut interpolieren. Die Funktion hat den Vorzug, daß nur zwei Konstanten anzupassen sind (c und R). Somit ist die Funktionsgleichung auch bei geringem Datenumfang einsetzbar.

Nowak untersuchte in umfangreichen Versuchsreihen eingehend die empirische Lautheitsfunktion Normalhöri-ger bei unterschiedlichem akustischem Hintergrund und stellte fest, daß vor allem bei höheren Frequenzen auch die modifizierte Fechnersche Funktion systematisch von den Lautheitseinstufungen der Pbn abwich. Außerdem ist man mit dieser Gleichung nicht in der Lage, den Effekt von variiertem Hintergrundgeräusch vorherzusagen. Dies gab Anlaß, eine Gleichung zu entwickeln, die die empirisch festgestellten Lautheitsausprägungen besser modellierte. Nowak ging dabei von Fechners zentralem Postulat aus, daß die überschwellige Unterschiedsempfindung bei zwei deutlich verschieden laut wahrgenommenen Reizintensitäten linear abhängig ist von der Anzahl der Ebenmerklichkeitsschritte zwischen den beiden Intensitäten. Die kategoriale absolute Lautheit, erfaßt mit einer Skala, die äquidistante Unterteilungen des Lautheitskontinuums als Metrum benutzt, sollte eine lineare Funktion einer Ebenmerklichkeitsskala der Lautheit sein. In folgenden Annahmen faßt Nowak (1990) den Ausgangspunkt der Modellentwicklung zusammen:

1. Die Lautheitswahrnehmung ist abhängig von der durch den Stimulus erzeugten neuralen Erregung.
2. Da die Erregung von Hintergrundschall oder organismischem Rauschen und dem Reizgeräusch gemeinsam erzeugt wird, muß für die Modellierung der Beziehung zwischen Unterschiedsempfindlichkeit und physikalischer Intensität Reiz und Hintergrund gemeinsam als Stimulus angesetzt werden.
3. Die Absolutschwelle ist gegeben als Wirkung eines Rauschens, das Stimuli, die nicht über eine Mindestintensität verfügen, total maskiert.
4. Die neurale Erregung hat eine endliche Dynamik. Sie wächst nicht über ein Maximum hinaus.

5. Die Zäsuren einer Kategorienskala liegen um gleiche Unterschiedsempfindungen voneinander entfernt (Äquidistanz der Skala). Über die Kategorisierungsmethode läßt sich folglich die Unterschiedsempfindung als Lautheitsmetrum einsetzen. Das heißt, daß kategoriale Lautheitseinstufungen auf Intervallniveau Lautheitswahrnehmungen erfassen.

Wir geben die Entwicklung der Lautheitsfunktion im Original wieder (Nowak, 1991, siehe auch beigelegten Originalartikel, Abschnitt II-7):

"Im folgenden sollen die dimensionslosen Zahlen S und R die Signal- bzw. die Rauschintensität beschreiben. Die neurale (psychophysische) Erregung werde mit E bezeichnet. A schließlich sei die Antwort der Versuchspersonen, wobei vorausgesetzt wird, daß darin die Empfindungsgröße in angemessener Weise ausgedrückt wird. Nimmt man nun an, daß gleiche Erregungsunterschiede zu gleichen Empfindungsunterschieden führen und außerdem das Webersche Gesetz gilt, so gilt für die Erregung in Abhängigkeit von der Gesamtintensität (S+R) das Fechnersche Gesetz. Unter gleichen Voraussetzungen führt die Annahme, daß gleiche relative Erregungsunterschiede (gleiche Erregungsverhältnisse) zu gleichen Empfindungsunterschieden führen, zu einer Potenzfunktion für die Erregung in Abhängigkeit von der Intensität.

Formal kann man den Sachverhalt in folgender Differentialgleichung zusammenfassen:

$$dE = k \cdot (S + R)^p \cdot d(S + R) \quad (1)$$

Für $p=-1$ ergibt die Integration das Fechner'sche Gesetz, in allen anderen Fällen erhält man eine Potenzfunktion. Dieser Ansatz führt also nicht über längst bekannte und diskutierte Standpunkte hinaus. Berücksichtigt man jedoch, daß die Erregung mit Sicherheit einen endlichen Maximalwert E^* hat, so kann die Gleichung (1) gar keine adäquate Beschreibung der Erregung liefern. Um diese Unstimmigkeit zu beheben, kann man noch den Korrekturfaktor $(E^* - E)$ einfügen und erhält damit:

$$dE = (E^* - E) \cdot k \cdot (S + R)^p \cdot d(S + R) \quad (2)$$

Nach dieser Gleichung nimmt die Erregung bei Steigerung der Reizintensität immer weniger zu, je mehr sie sich der Maximalerregung E^* nähert. Das bedeutet gleichzeitig, daß man nicht mehr an der strengen Gültigkeit des Weberschen Gesetzes festhalten kann. Die Integration der Gleichung (2) führt nun zu folgender Gleichung für die Gesamterregung:

$$E = E^* \cdot \left[1 - e^{-c \cdot (S+R)^n} \right] \quad (3)$$

mit $c=k/n$ und $n=p+1$. Setzt man die Signalintensität gleich Null, so erhält man die Rauscherregung E_R allein. Subtrahiert man diese Rauscherregung von der Gesamterregung, so kommt man zu der Signalerregung E_S . Um nun zur Lautheit zu kommen, bedarf es noch einer zusätzlichen Annahme über den Zusammenhang zwischen der Erregung und der Empfindung A. Dieser wird durch folgende Gleichung gegeben:

$$\frac{E_S}{(E^* - E_R)} = \frac{A}{A^*} \quad (4)$$

Hier bezeichnet A^* den höchsten Skalenwert, den die Versuchsperson an der Schmerzgrenze angeben würde, da sie ja auf der KU- Skala über 50 Skalenteile hinausgehen darf (vgl. Heller, 1985). Der von der Versuchsperson angegebene Wert A soll sich also zur gesamten Skalenlänge verhalten wie die Signalerregung zum gesamten noch freien, nicht von der Rauscherregung eingenommenen Erregungsbereich. Aus der Gleichung (4) folgt, daß gleiche Erregungsunterschiede zu gleichen Lautheitsunterschieden führen. Das gilt auch für ebenmerkliche Erregungsunterschiede. Die Lautheitsskala stimmt damit bis auf einen unbekanntem Skalenfaktor mit der Skala überein, die man durch Abzählen der ebenmerklichen Unterschiede erhält. Die Gleichung (4) wurde deshalb als eine der möglichen Formulierungen des Fechner'schen Maßprinzips in das Modell mit einbezogen. Daß genau diese Formulierung gewählt wurde, wird durch das Bezugssystem-Modell nahegelegt. Nicht der absolute Wert der Erregung ist maßgebend, sondern die Erregung bezogen auf

den gesamten freien Erregungsbereich. Ebenso geht A nur bezogen auf die gesamte Skalenlänge in die Gleichung (4) ein. Aus den Gleichungen (3) und (4) folgt nun die Lautheitsfunktion:

$$A = A^* \cdot \left\{ 1 - e^{c \cdot [R^n - (S+R)^n]} \right\} \quad (5)$$

Es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, daß dies keine mathematische Ableitung oder gar einen Beweis der Gleichung (5) darstellen soll, sondern eine mathematische Beschreibung und Zusammenfassung plausibler Annahmen, die sich in ständiger Wechselwirkung mit Experimenten zur Lautheitsbestimmung ergaben." (S. 85f.)

In einer Reihe von Experimenten konnte Nowak zeigen, daß die Lautheitsdrosselung durch Störgeräuschanhebung mit der Gleichung vorhersagbar war. Außerdem belegte Nowak, daß sich aus der Ableitung der Funktionsgleichung die Unterschiedsempfindlichkeit in verschiedenen Pegellagen präzise vorhersagen läßt.

II - 2.4 Untersuchungen zur Form der Lautheitsfunktion

Für die Interpolation und Darstellung der Lautheitsdaten Normalhöriger, aus den Normlautheitsfunktionen gewonnen werden sollten, war die Wahl der richtigen Funktionsgleichung von großer Bedeutung. Um zu prüfen, welche Funktion zur Interpolation einzusetzen sei, wurden 16 normalhörige Pbn einer hörfeldaudiometrischen Untersuchung unterzogen, in der lediglich Signale mit den Testfrequenzen .25, 1 und 4 kHz geboten wurden. Jede Frequenz wurde jedoch in verbundener Stichprobe monaural und binaural und mit jeweils 20 Pegeln über der Hörschwelle untersucht. Als Signale wurden 10%-SFMS-Töne verwendet.

An die Lautheitseinstufungen einschließlich der Hörschwelle (= 0.5 KU-Skt) wurden individuell die Konstanten folgender Funktionsgleichungen abweichungsquadratminimierend angepaßt:

1. die lineare Funktion (entspricht Fechnerschem Gesetz; bei der Anpassung wurde jeweils das Schwellendatum weggelassen, das von der Gleichung ohnehin nicht modelliert werden kann)
2. die modifizierte Fechner-Funktion
3. das Polynom 3. Grades
4. die Nowak-Funktion, wobei alle vier Parameter angepaßt wurden
5. die Nowak-Funktion, wobei A auf den Wert 60 gesetzt wurde, den Nowak als Totallänge der oben offenen fünfzigstufigen KU-Skala für Lautheit ermittelt hat (Nowak, 1990).

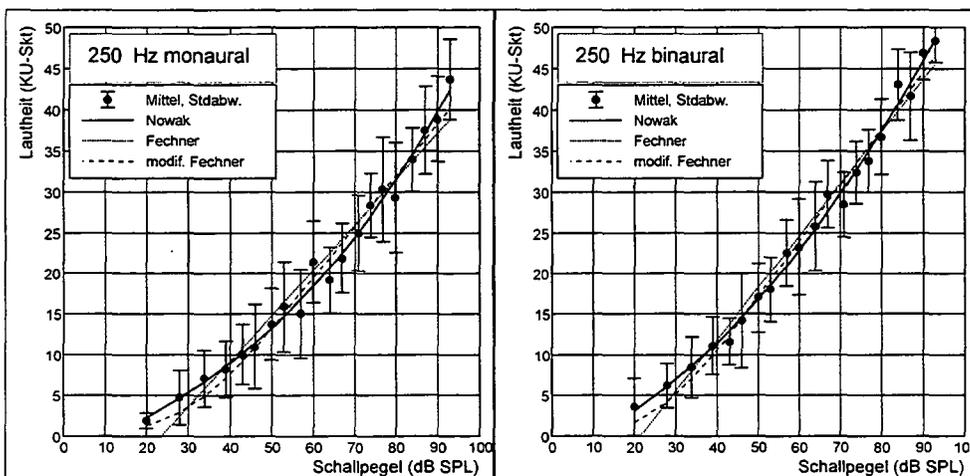


Abbildung 12: Monaurale und binaurale Lautheitsfunktion bei 250 Hz. Mittelwerte und Standardabweichungen der Lautheitseinstufungen (n = 16). Angepaßte Funktionen: Nowak-Funktion, Fechner-Funktion (lineare Funktion), modifizierte Fechner-Funktion.

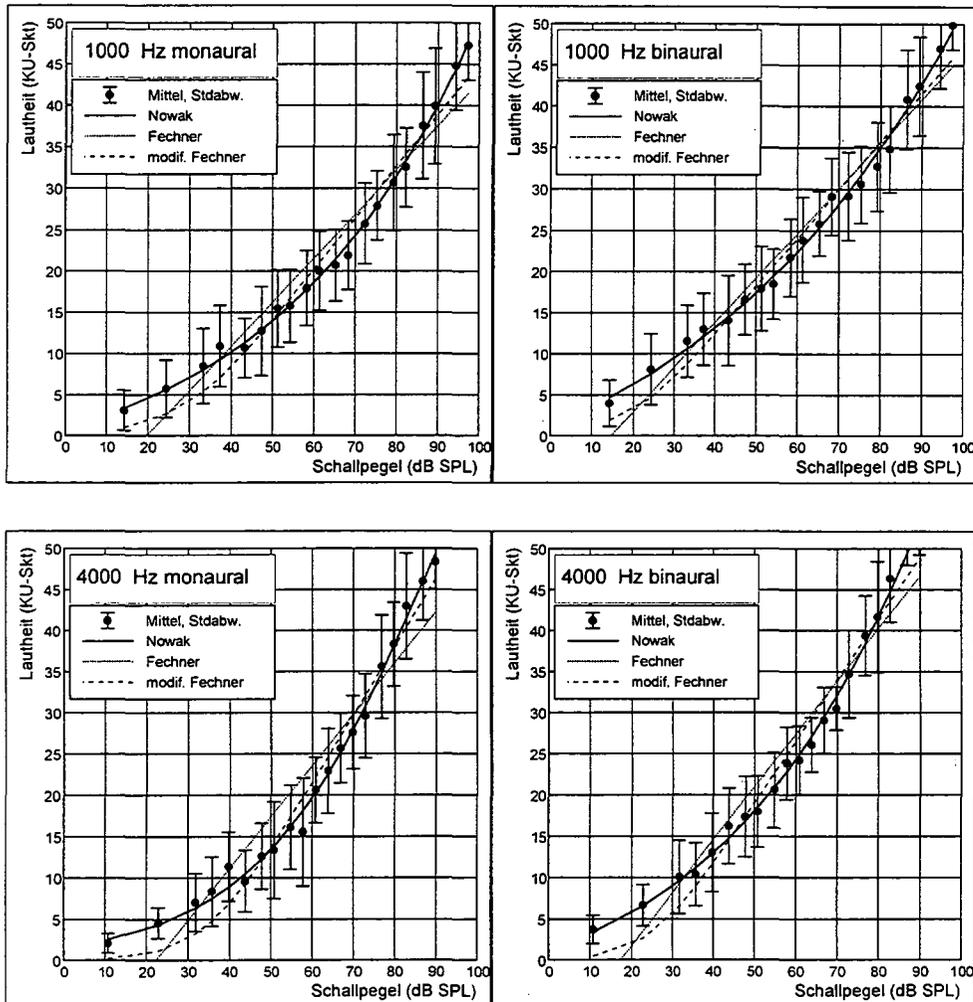


Abbildung 13: Monaurale und binaurale Lautheitsfunktion bei 1 und 4 kHz. Mittelwerte und Standardabweichungen der Lautheitseinstufungen ($n = 16$). Angepaßte Funktionen: Nowak-Funktion, Fechner-Funktion (lineare Funktion), modifizierte Fechner-Funktion.

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die kollektiven Lautheitsfunktionen der 16 Pbn. Neben den Mittelwerten und den Standardabweichungen sind die Funktionsgraphen der angepaßten Nowak-Funktion, der linearen Funktion (Fechner) und der modifizierten Fechner-Funktion zu sehen. Es ist auf einen Blick deutlich, daß die lineare Funktion die empirische Lautheitsfunktion nur schlecht wiedergibt. Aber auch die modifizierte Fechner-Funktion kann die Ausbauchung der empirischen Funktion nach unten - vor allem bei den höheren Frequenzen - nicht modellieren. Dies dürfte - mit Fechners Argumentation übereinstimmend - seine Ursache darin haben, daß der Weber-Bruch zumindest im untersuchten Lautheitsbereich mit zunehmender Lautheit abnimmt (s. z.B. Zwicker & Fastl 1990, Scharf & Buus 1986). Das angepaßte Polynom 3. Grades und die Nowak-Funktion mit konstantem Parameter A weisen sehr ähnliche Graphen auf wie die gezeigte Nowak-Funktion.

In Abbildung 14 sind je Frequenz und Darbietungsart (monaural, binaural) über dem Schallpegel die mittleren Abweichungen zwischen Funktionswert und Datum aufgetragen. Die einzelnen Differenzen, über die gemittelt wurde, haben dabei ihr Vorzeichen behalten, so daß sich im Abweichungsmittel eventuelle systematische Abweichungen der angepaßten Funktion von den Lautheitsdaten in deutlich von Null verschiedenen Mittelwerten bemerkbar machen. In den Graphiken sind die Abweichungswerte aller fünf angepaßten Funktionen zu sehen. Zur Verdeutlichung der systematischen Abweichungen der beiden Fechner-Funktionen wurde an die Abweichungswerte das Polynom 2. Grades angepaßt.

Es ist klar erkennbar, daß sich die beiden Fechner-Gleichungen nur bedingt eignen, um die Lautheitsfunktion normalhöriger Pbn zu modellieren. Die stärksten Differenzen treten bei der Anpassung der linearen Funktion auf, die in Schwellennähe grob von den Lautheitsdaten abweicht.

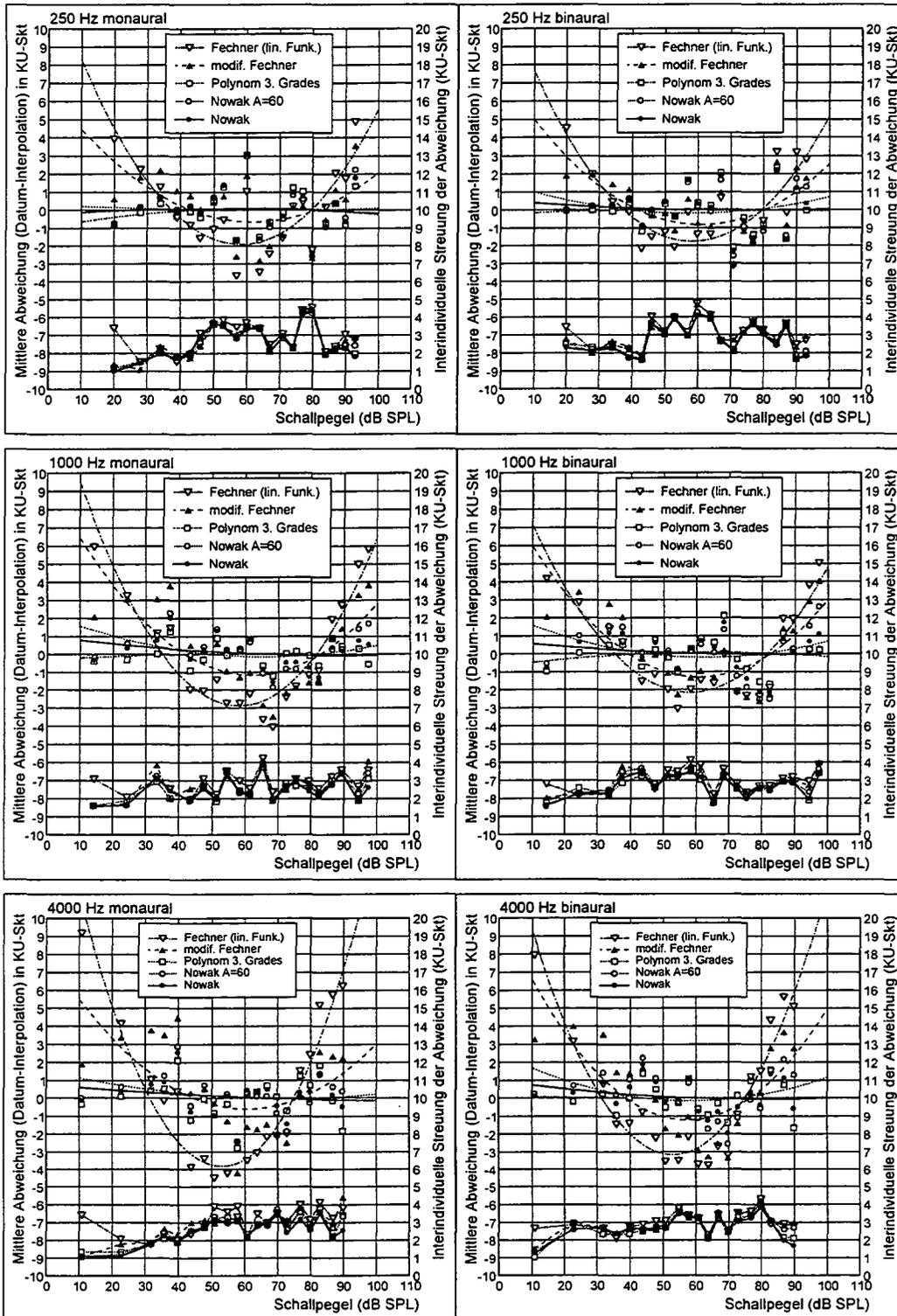


Abbildung 14: Mittlere Abweichungen (vorzeichenbehaftet) zwischen Daten und angepassten Funktionen je Frequenz, Darbietungsart und Schallpegel. Jeweils oben (linke Ordinate): Mittlere Abweichungen zwischen individueller Einstufung und dem Wert der individuell angepassten Funktion; Funktionen: Fechner-Funktion, modifizierte Fechner-Funktion, Polynom 3. Grades, Nowak-Funktion (4 Parameter), Nowak-Funktion (3 Parameter $A=60$); Polynom 2. Grades an die Abweichungsmittel angepasst. Jeweils unten (rechte Ordinate): Interindividuelle Standardabweichung der Abweichungen.

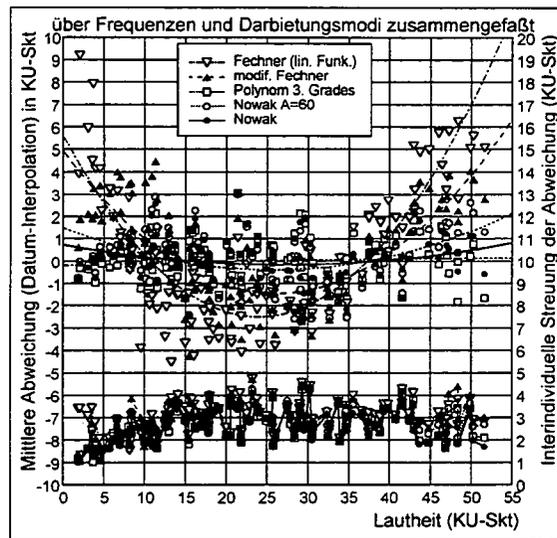


Abbildung 15: Daten aus Abbildung 14 über Frequenz und Darbietungsart zusammengefaßt und über der kollektiven Lautheit abgetragen.

In Abbildung 15 sind die Daten der Abbildung 14 zusammengefaßt dargestellt. Die Abweichungswerte wurden über der jeweiligen kollektiven Lautheit aufgetragen. Abbildung 16 schließlich zeigt die Abweichungsbeträge (Wurzel aus mittlerem Abweichungsquadrat) (WmaQ) zwischen individuellem Einstufungsdatum und dem Wert der angepaßten Funktion; Funktionen: Fechner-Funktion, modifizierte Fechner-Funktion, Polynom 3. Grades, Nowak-Funktion (4 Parameter), Nowak-Funktion (3 Parameter $A=60$). Die Abweichungsdaten wurden je Kategorienhälfte (0-4.99, 5-9.99, 10-14.99 usw.) gemittelt.

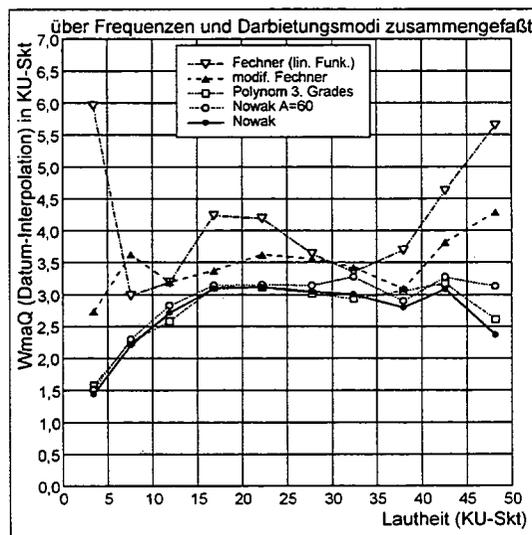


Abbildung 16: Mittlere Abweichungsbeträge (Wurzel aus mittlerem Abweichungsquadrat, WmaQ) zwischen individuellem Einstufungsdatum und dem Wert der angepaßten Funktion; Funktionen: Fechner-Funktion, modifizierte Fechner-Funktion, Polynom 3. Grades, Nowak-Funktion (4 Parameter), Nowak-Funktion (3 Parameter $A=60$). Die Abweichungsdaten wurden je Kategorienhälfte (0-4.99, 5-9.99, 10-14.99 usw.) gemittelt.

II - 2.5 Gewinnung der monauralen Normlautheitsfunktionen

Der folgende Beitrag stellt die Ergebnisse von Untersuchungen dar, die zur Gewinnung von Normlautheitsfunktionen durchgeführt wurden.

Als Pbn arbeiteten 93 Studenten im Alter zwischen 18 und 25 Jahren mit. Ein Teil der Pbn (Stichprobe 1) hörte die Testgeräusche über den Jecklin-Hörer (14 Männer, 29 Frauen), ein Teil (Stichprobe 2) über den K 1000-Hörer (19 Männer, 31 Frauen). An der Stichprobe 1 wurden die 18 Testfrequenzen (Mittelfrequenzen der SFMS-Töne) .1, .16, .25, .35, .5, .71, 1, 1.4, 2, 2.45, 3, 3.45, 4, 4.9, 6, 7, 8 und 10 kHz untersucht. Bei Stichprobe 2 umfaßte der Geräuschsatz die zehn Frequenzen .1, .25, .5, 1, 2, 3, 4, 6, 8 und 10 kHz. Zusätzlich wurden bei den Meßsitzungen der Stichprobe 2 23%-SFMS und 41%-Schmalbandrauschen geboten. In weiteren Messungen an Stichprobe 1 und 2 wurden Mithörlautheitsfunktionen bestimmt. Die diesbezüglichen Ergebnisse werden an anderer Stelle berichtet.

Während bei Stichprobe 1 die je Frequenz fünf Schallpegel individuell zwischen der Hörschwelle und dem frequenzspezifischen Maximalpegel, der in Vorversuchen als „sehr laut“ ermittelt wurde, eingepaßt wurden, erhielten in Stichprobe 2 alle Pbn je Frequenz die gleichen Schallpegel. In beiden Stichproben deckte das Testgeräuschangebot den ganzen Lautheitsbereich zwischen „sehr leise“ und „sehr laut“ ab.

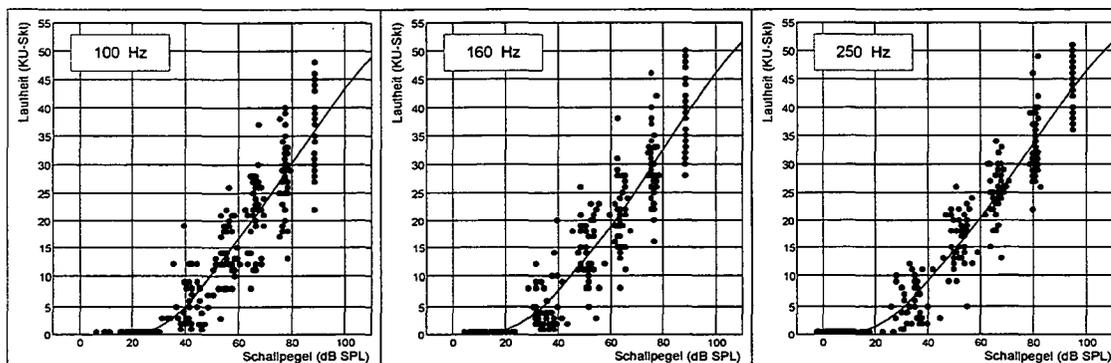
Die Reihenfolgen der Darbietungen waren nicht randomisiert, sondern Folgen mit eingeschränktem Zufall, um allzu große Ähnlichkeiten aufeinanderfolgender Stimuli zu vermeiden (s.o.) Je Frequenz enthielt das Testdesign fünf Pegel. Bei der Generierung der Reihenfolgen wurde das direkte Aufeinanderfolgen von benachbarten Pegelstufen und das direkte Aufeinanderfolgen von gleichen oder benachbarten Frequenzen ausgeschlossen. Auf diese Weise wurde für beide Stichproben jeweils ein Satz von fixen Reihenfolgen hergestellt (Stichprobe 1: 5 Reihenfolgen, Stichprobe 2: 13 Reihenfolgen), die bei jeweils mehreren Pbn verwendet wurden. Jeweils die Hälfte der Testfrequenzen wurde auf dem linken, bzw. auf dem rechten Ohr geboten (in Stichprobe 1 z.B. .1 kHz links, .16 kHz rechts, .25 kHz links, .35 kHz rechts usw.). Für jede Reizabfolge lagen bezüglich der Frequenz-Ohr-Zuordnung die beiden gespiegelten Varianten vor, die in je der Hälfte der Fälle eingesetzt wurden. Über Abhängigkeiten der Lautheitseinstufungen von der Reihenfolge muß an anderer Stelle berichtet werden.

Die bei jedem Pb je Testfrequenz gemessene Hörschwelle diente als Kriterium, um Datensätze auszuschließen, denen ein beginnender Hörverlust zugrundeliegen könnte. Deutlich außerhalb der Verteilung liegende Hörschwellen fanden sich in 43 von 1274 Fällen (3.4%). Die zugehörigen Lautheitsdaten wurden eliminiert.

Um kollektive Lautheitsfunktionen zu gewinnen, wurde je Testfrequenz an die individuellen Lautheitsdaten inklusive Hörschwelle (= 0.5 KU-Skt) je Stichprobe die von Nowak (1990) vorgeschlagene Funktion

$$A = A^* \cdot \left\{ 1 - e^{-c \cdot [R^n - (S+R)^n]} \right\}$$

abweichungsquadratminimierend angepaßt (L: Lautheitseinstufung, A*: Skalenfaktor, S: Signalintensität, N: effektive Hintergrundintensität, c und n: zwei weitere Konstanten, die die Steilheit der Funktion bestimmen). Diese Funktion modelliert die Lautheitsdaten einer Untersuchung mit feingestuftem Pegelsatz (21 Pegel) deutlich besser als die bisher eingesetzte, ebenfalls von Nowak angegebene Fechner-Funktion $L = c \cdot \log(1 + S/R)$, die die Intensität eines maskierenden Rauschens berücksichtigt. (L: Lautheitseinstufung, c: Skalenfaktor, S: Signalintensität, R: effektive Hintergrundintensität). Da die untersuchten Lautheiten „sehr laut-45“ kaum überschreiten und somit der Parameter A*, in den L bei extrem hohen Schalldrücken asymptotisch übergeht, nicht präzise bestimmt werden kann, setzten wir bei allen Anpassungen A* auf den Wert 60, den Nowak als Totallänge für die 50stufige, oben offene KU-Skala empirisch ermittelte (s.o.)



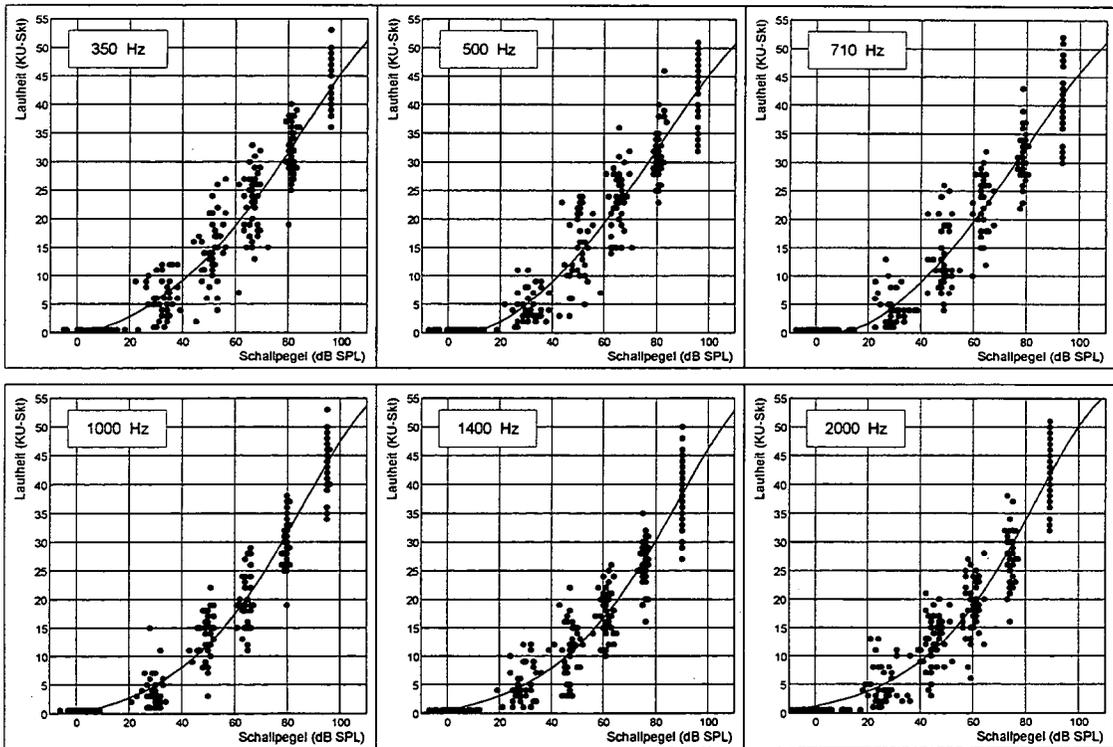
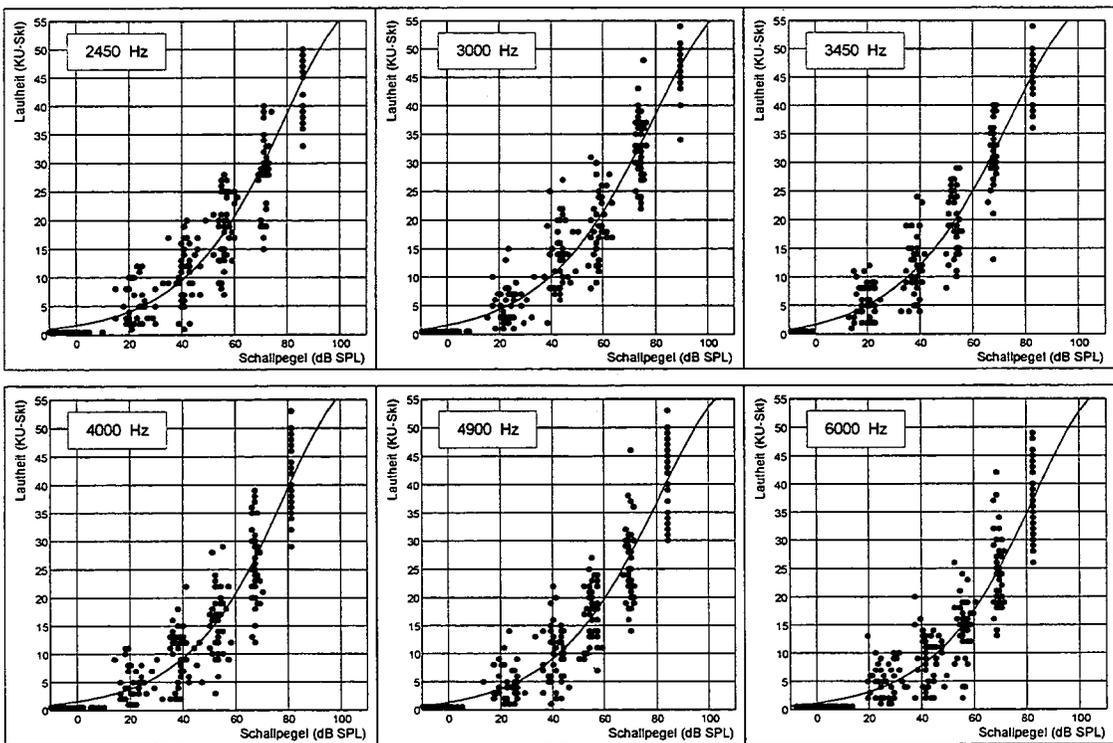


Abbildung 17: Kollektive Lautheitsfunktionen der Stichprobe 1 bei .1, .16, .25, .35, .5, .71, 1, 1.4 und 2 kHz. Individuelle Hörschwellen, individuelle Lautheitseinstufungen, angepaßte Nowak-Funktion.



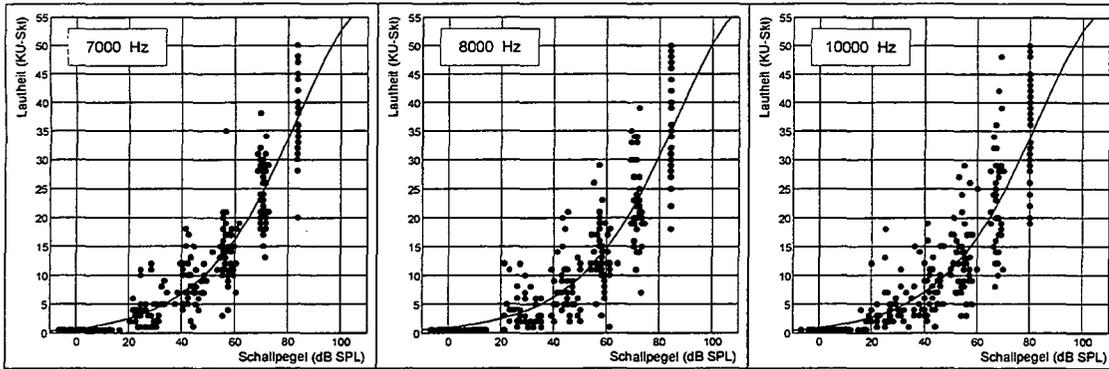


Abbildung 18: Kollektive Lautheitsfunktionen der Stichprobe 1 bei 2,45, 3, 3,45, 4, 4,9, 6, 7, 8 und 10 kHz. Individuelle Hörschwellen, individuelle Lautheitseinstufungen, angepasste Nowak-Funktion.

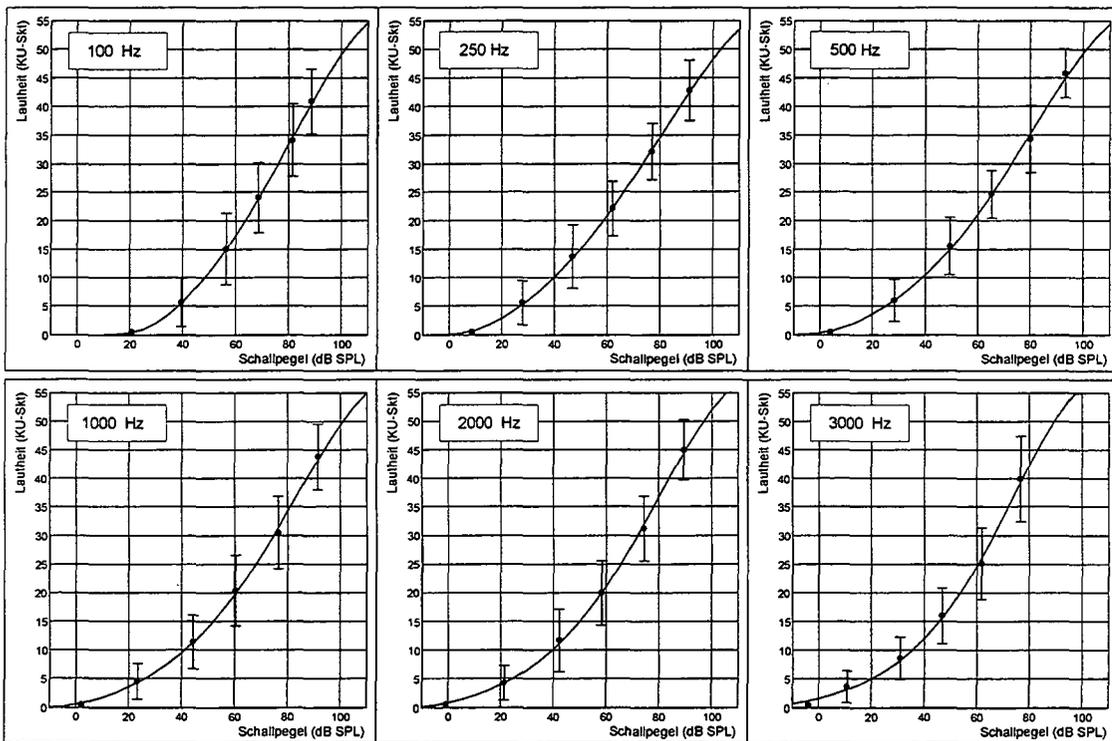
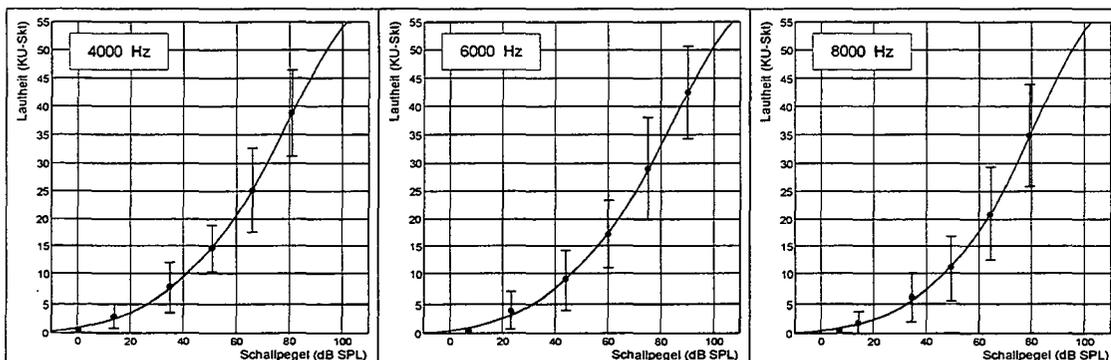


Abbildung 19: Kollektive Lautheitsfunktionen der Stichprobe 2 bei .1, .25, .5, 1, 2 und 3 kHz; kollektive Hörschwelle, kollektive Mittelwerte und Standardabweichungen der Lautheitseinstufungen, angepasste Nowak-Funktion.



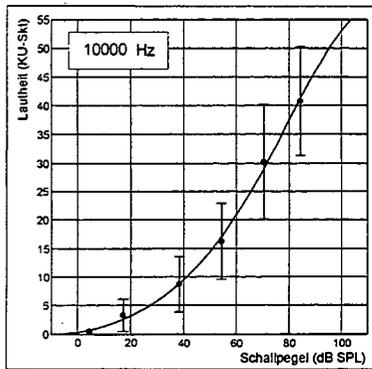


Abbildung 20: Kollektive Lautheitsfunktionen der Stichprobe 2 bei 4, 6, 8 und 10 kHz; kollektive Hörschwelle, kollektive Mittelwerte und Standardabweichungen der Lautheitseinstufungen, angepaßte Nowak-Funktion.

In Abbildung 17 bis Abbildung 20 sind die kollektiven Lautheitsfunktionen der beiden Stichproben dargestellt. Die Konstanten und Anpaßgüten der Nowak-Funktionen finden sich in Tabelle 2, S. 25 und

Tabelle 3, S. 25. Für die Stichprobe 1 (Jecklin) werden die individuellen Lautheitseinstufungen gezeigt, da den einzelnen Pbn hörschwellenabhängig unterschiedliche Pegelsätze je Frequenz dargeboten wurden. Die Pegelsätze unterscheiden sich vor allem bei niedrigen Lautheiten. Zur Darstellung muß angemerkt werden, daß die Dispersion übertrieben erscheint: mehrfache gleiche Lautheitseinstufungen im zentralen Teil der jeweiligen Einstufungsverteilung erscheinen lediglich als eine Markierung in den Graphiken, so daß die stärker abweichenden einzelnen Einstufungen das Bild dominieren. Bei Stichprobe 2 (K1000) sind die kollektiven Mittelwerte und Standardabweichungen wiedergegeben. Es ist ersichtlich, daß sich anhand der angepaßten Funktion die Daten gut interpolieren lassen. Außerdem wird deutlich, daß die Streuungen der Lautheitseinstufungen mit zunehmender Frequenz steigen.

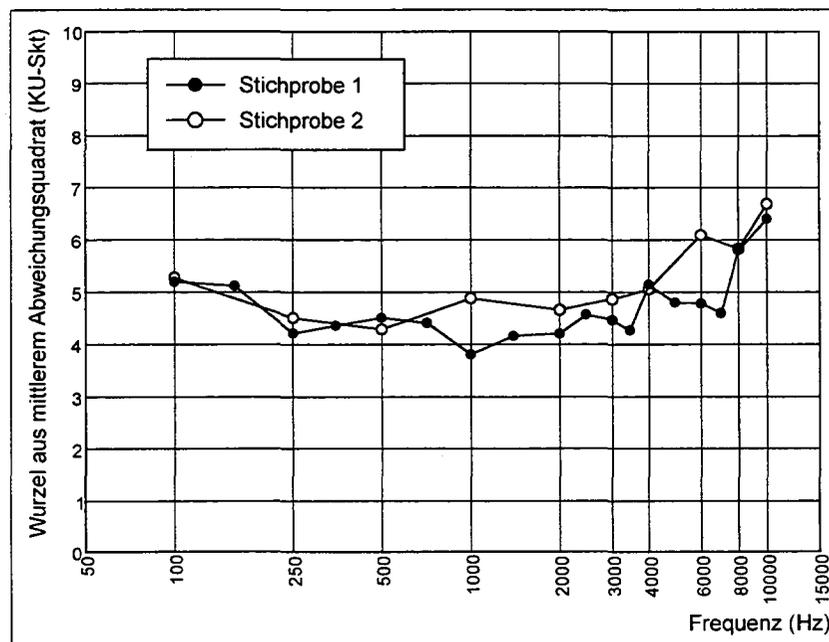


Abbildung 21: Streuung der individuellen Lautheitseinstufungen um die kollektiv angepaßte Nowak-Funktion je Stichprobe und Frequenz. Streuungsparameter: Wurzel aus dem mittleren Abweichungsquadrat (Zahlenwerte in Tabelle 2, S. 25 und Tabelle 3, S. 25).

Dies ist auch in Abbildung 21 zu erkennen. Über der Frequenz sind je Stichprobe die Streuungen der individuellen Lautheitseinstufungen um die angepaßte Nowak-Funktion aufgetragen (Wurzel aus dem mittleren Residu-

um). Am niedrigsten - bei etwa 4.5 KU-Skt - liegen die Streuungen im Bereich zwischen 250 und 3000 Hz. Darüber steigen sie in beiden Stichproben an. Im Bereich über 4 kHz nehmen auch die interindividuellen Streuungen der Gehöreingangspegel zu (siehe Abbildung 9, S. 11). Das heißt, daß zumindest ein Teil der höheren Einstufungsvarianz physikalisch begründet ist. Damit läßt sich jedoch der ebenfalls feststellbare Anstieg im Tieftonbereich nicht erklären. Daß die Nowak-Funktion bei unterschiedlicher Frequenz die wahrgenommene Lautheit unterschiedlich gut modelliert, muß unplausibel erscheinen, da sie, wie in Abbildung 19 und Abbildung 20 (S. 22) zu sehen ist, die kollektiven Mittelwerte der Stichprobe 2 ebenso gut interpoliert wie bei höheren Frequenzen. Ein psychologischer Faktor bleibt übrig: die "farblosen", "transparenten" tiefen und die "dünnen", "volumenlosen" extrem hohen Töne unterscheiden sich mehr von den alltäglichen zumeist breitbandigen Schallen, deren "laut" und "leise" vertraut ist, als die Töne im Bereich zwischen 200 Hz und 3 kHz. Müller (1987) stellte fest, daß das Tönhöhenbezugssystem seine obere Grenze bei 3.5 kHz hat (obere Grenze von "sehr hoch"). Außerdem registrierte er eine markante Unstetigkeit in der Tonhöhenfunktion bei 200 Hz (Grenze zwischen "tief" und "mittel": die Funktion steigt darunter deutlich steiler an als im höheren Frequenzbereich. Dies läßt die Vermutung zu, daß Lautheiten von schmalbandigen Geräuschen dann mit der interindividuell höchsten Konsistenz beschrieben werden, wenn sie weder tief noch überhoch sind.

Von vorneherein nicht gänzlich auszuschließen ist, daß die frequenzabhängig unterschiedlichen Varianzen durch unterschiedliche Gehörvarianz über die Stichprobe mitbedingt sein könnten. Eine abschließende Klärung des Sachverhalts der frequenzabhängigen Streuung der Lautheitsdaten Normalhöriger muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Schließlich ist anzumerken, daß die Dispersion der Lautheitsdaten aufgrund der Tatsache, daß die Versuche wegen des Testgeräuschumfangs sehr anstrengend für Pb und VI waren, außerdem als VI verschiedene studentische Hilfskräfte eingesetzt wurden, höher liegen dürfte, als es bei einer Standardhörfeldaudiometrie der Fall wäre. Zudem ist fraglich, welchen Streuungszuwachs die unnatürliche Hörsituation im schallarmen Labor mit sich bringt.

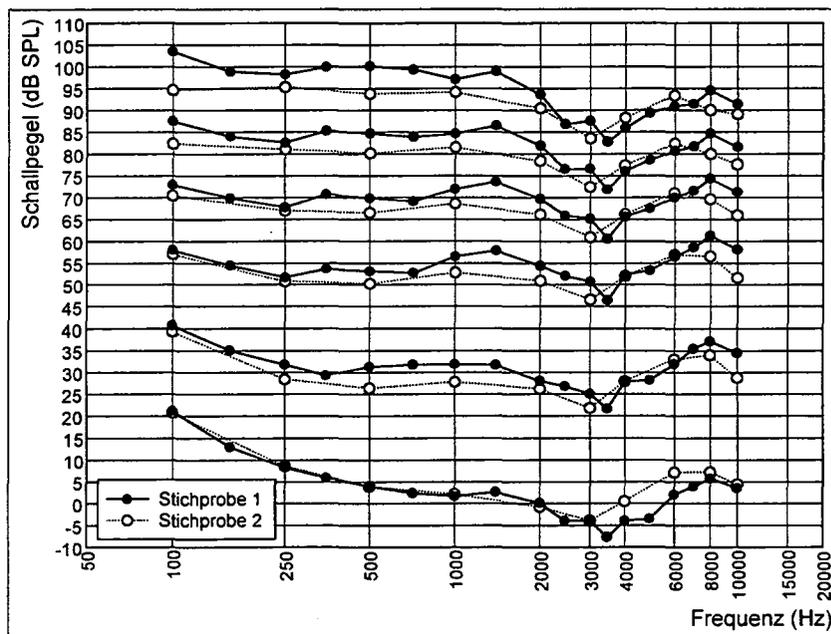


Abbildung 22: Isophonenscharen der beiden Stichproben, berechnet aus dem jeweiligen Satz kollektiver monauraler Lautheitsfunktionen. Von unten nach oben: Hörschwelle, sehr leise KU 5.5, leise KU 15.5, mittel KU 25.5, laut KU 35.5, sehr laut KU 45.5.

Um die Ergebnisse beider Stichproben auf einen Blick vergleichen zu können, haben wir aus dem Funktionensatz jeder Stichprobe die Isophonenscharen berechnet. Sie sind in Abbildung 22 gezeigt. Es ist ersichtlich, daß sie weitgehend übereinstimmen und die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs zeigen. Größere Abweichungen liegen bei 500 Hz und 10 kHz, außerdem bei sehr lauten Pegeln vor. Auffällig ist auch die höhere Hörschwelle bei 4 und 6 kHz in Stichprobe 2. Die größere akustische Abschattung des Jecklin-Hörers gegenüber Geräuschen, die der Pb selbst produziert (vor allem die Atmung), könnte hier ihren Niederschlag gefunden haben.

Tabelle 2: Stichprobe 1 (Jecklin). Kollektive Lautheitsfunktionen, Konstanten der angepaßten Nowak-Funktion c, n und $10 \log(N)$, Wurzel aus dem mittleren Abweichungsquadrat (WmaQ), Korrelation zwischen Prädiktum und Kriterium (r), Freiheitsgrade (df = Wertepaarzahl-3).

Frequenz (Hz)	c	n	$10 \log(N)$	WmaQ (KU-Skt)	r	df
100	0.18243	0.09544	30.25029	5.19396	0.92317	249
160	0.12389	0.11332	21.04682	5.11220	0.93420	255
250	0.15081	0.10583	17.79479	4.21476	0.96322	255
350	0.08565	0.12507	6.51511	4.36124	0.95901	255
500	0.11787	0.11285	14.16676	4.51400	0.95733	243
710	0.12840	0.11063	16.09597	4.41240	0.95802	249
1000	0.04722	0.15371	1.55762	3.80623	0.97138	219
1400	0.04189	0.15570	-5.33612	4.16256	0.95341	237
2000	0.03944	0.16678	-17.95774	4.20384	0.95910	255
2450	0.02894	0.19473	-106.86338	4.56868	0.95853	255
3000	0.03733	0.18073	-32.49425	4.46733	0.96425	255
3450	0.04580	0.18082	-24.28356	4.26906	0.96504	249
4000	0.02631	0.20161	-317.18833	5.14221	0.93826	243
4900	0.03163	0.18525	-28.68605	4.80250	0.94596	255
6000	0.02430	0.19447	-32.92380	4.78427	0.93499	255
7000	0.01962	0.20354	-20.56698	4.60037	0.94080	255
8000	0.01740	0.20223	-46.23334	5.79787	0.89871	249
10000	0.02066	0.20110	-26.28193	6.40396	0.87356	255

Tabelle 3: Stichprobe 2 (K 1000). Kollektive Lautheitsfunktionen, Konstanten der angepaßten Nowak-Funktion c, n und $10 \log(N)$, Wurzel aus dem mittleren Abweichungsquadrat (WmaQ), Korrelation zwischen Prädiktum und Kriterium (r), Freiheitsgrade (df = Wertepaarzahl-3).

Frequenz (Hz)	c	n	$10 \log(N)$	WmaQ (KU-Skt)	r	df
100	0.07143	0.14218	25.56778	5.27591	0.94040	297
250	0.09814	0.12559	9.03363	4.51209	0.95637	297
500	0.08030	0.13565	2.55852	4.29424	0.96486	297
1000	0.05587	0.15078	-2.82086	4.88360	0.95157	291
2000	0.05164	0.16037	-7.05008	4.66136	0.95796	297
3000	0.04859	0.17618	-20.22515	4.86529	0.94165	297
4000	0.03714	0.18003	-12.51271	5.05584	0.93618	291
6000	0.03169	0.17768	-4.44317	6.09171	0.92465	297
8000	0.02479	0.19591	-5.87108	5.82779	0.90102	285
10000	0.04787	0.16681	0.34492	6.68805	0.90899	291

II - 2.6 Validierung

In den bisher vorliegenden Untersuchungen zur Lautheitsskalierung wird vor allem Wert auf die Reliabilität des Verfahrens gelegt, also die Frage nach dem variablen Fehler gestellt. Entscheidend ist jedoch die Frage: Wie unverzerrt bildet die Lautheitsskalierung das Hörvermögen des Pb ab (Frage nach systematischen Fehlern)? Ein Kriterium ist die Psychophysik des Phänomens „gleich laut“, das den im Konstanzverfahren bestimmten Isophonen zugrundeliegt. Führen die kategorialen Lautheitsbeschreibungen zu den gleichen Isophonen, wenn man zu gegebener Lautheit die isophonen Schallpegel für die einzelnen Testfrequenzen berechnet, wie oben für die beiden Stichproben geschehen?

Um dies zu prüfen, haben wir die Isophonenscharen beider Stichproben gemittelt (zuvor wurden die Pegelwerte der fehlenden Frequenzen in Stichprobe 2 interpoliert) und zeigen das Ergebnis im Vergleich mit den Isophonen, die Robinson & Dadson (1956) mit binaural gebotenen Sinustönen ermittelten, in Abbildung 23. Die für den gemittelten Isophonensatz berechneten Konstanten der Nowak-Funktionen enthält Tabelle 4. Die hörfeldaudiometrischen Isophonen weichen zwar vor allem oberhalb von 3 kHz von den „gleich-laut“-Isophonen ab und sind im „Sehr-laut“-Bereich deutlich flacher. Die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs tritt jedoch auch in der hörfeldaudiometrischen Isophonenschar klar in Erscheinung.

Es bleibt überdies zu klären, worin die systematischen Unterschiede zwischen beiden Kurvenscharen ihre Ursache haben. Die Untersuchungen unterscheiden sich in Stichprobe, Testgeräuschen (SFMS vs. Sinus) und Darbietungsart (mon- vs. binaural). Wie zudem die Untersuchungen von Gabriel et al. (1995) zum Ausschnitteffekt beim Konstanzverfahren zeigen, dürfen die Isophonen von Robinson & Dadson nicht unkritisch als Referenz angesehen werden.

Für die Normierung der Hörfeldaudiometrie läßt sich feststellen, daß Normalhörige 30 Phon als „sehr leise“, 55 Phon als „leise“, 70 Phon als „mittel“, 84 Phon als „laut“ und 95 Phon als „sehr laut“ wahrnehmen, wenn der Schall monaural geboten wird.

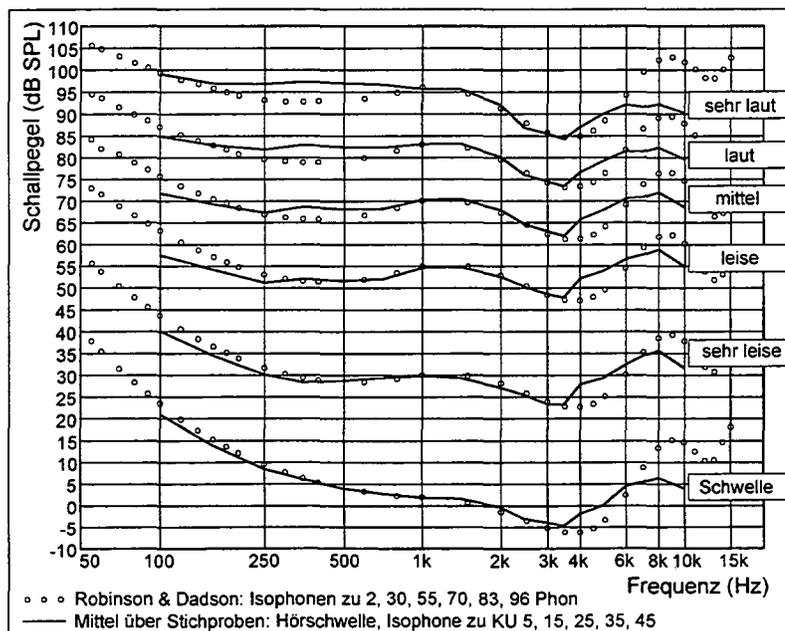


Abbildung 23: Hörfeldaudiometrisch monaural bestimmte Isophonen (Mittel über beide Stichproben) und Isophonen nach Robinson & Dadson (1956, binaurale Sinustöne).

Tabelle 4: Stichproben 1 und 2. Kollektive Lautheitsfunktionen aus dem über die Stichproben gemittelten Isophonensatz (Hörschwelle (= 0.5 KU-Skt), Lautheiten 5.5, 10.5, 15.5 ... 50.5 KU-Skt). Konstanten der angepaßten Nowak-Funktion c, n und 10 log(N), Wurzel aus dem mittleren Abweichungsquadrat (WmaQ), Korrelation zwischen Prädiktum und Kriterium (r), Freiheitsgrade (df = Wertepaarzahl-3).

Frequenz (Hz)	c	n	10log(N)	WmaQ (KU-Skt)	r	df
100	0.11763	0.11629	28.25278	0.07226	0.99999	8
160	0.10159	0.12337	19.13498	0.05841	0.99999	8
250	0.11979	0.11607	13.54372	0.06303	0.99999	8
350	0.08766	0.12753	6.50565	0.01998	1.00000	8
500	0.09565	0.12449	8.47280	0.08118	0.99999	8
710	0.09138	0.12688	9.25961	0.11597	0.99998	8
1000	0.05149	0.15215	-0.54780	0.00298	1.00000	8
1400	0.04862	0.15456	-2.91418	0.05533	0.99999	8
2000	0.04730	0.16158	-6.74694	0.09975	0.99998	8
2450	0.04123	0.17759	-12.44879	0.13180	0.99997	8
3000	0.04599	0.17489	-13.25040	0.15716	0.99996	8
3450	0.04662	0.17683	-12.81696	0.11441	0.99998	8
4000	0.03354	0.18737	-12.22234	0.12058	0.99998	8
4900	0.03476	0.17959	-8.64405	0.10431	0.99998	8
6000	0.02975	0.18289	-4.26496	0.12276	0.99998	8
7000	0.02487	0.19244	-3.20699	0.08780	0.99999	8
8000	0.02221	0.19616	-3.97871	0.11541	0.99998	8
10000	0.03326	0.18156	-1.87301	0.05784	0.99999	8

II - 2.7 Zur binauralen Lautheitsfunktion Normalhöriger

Neben monauralen Lautheitsnormen interessiert, welche Lautheiten normalhörige Pbn bei binauraler Darbietung wahrnehmen. Ellermeier et al. (1985) untersuchten die binaurale Lautheitssummutation in einer Versuchsreihe, in der in einem orthogonalen Design auf rechtem und linkem Ohr 1kHz-23%-Rauschen mit Pegeln zwischen 50 und 85 dB geboten wurden. Die normalhörigen Pbn stufen die Lautheit des Schmalbandrauschens im KU-Verfahren ein. Die Autoren prüften mehrere Summationshypothesen anhand der Daten und zeigten, daß die Lautheitssummutation bei asymmetrischer Beschallung am besten vorhersagbar ist unter der Annahme, daß

$$L_{bin} = c \cdot \log \left[1 + \frac{(P_{links} + P_{rechts})^2}{(P_{Hintergrund})^2} \right]$$

wobei L_{bin} die binaurale Lautheit ist, P_{links} und P_{rechts} die Stimulusschalldrücke am linken und rechten Ohr, $P_{Hintergrund}$ der Schalldruck des effektiven Hintergrunds und c ein Skalenfaktor. Dies würde für den Fall gleicher kohärenter Beschallung auf beiden Ohren bedeuten, daß die binaurale Lautheit gleich der monauralen Lautheit eines gegenüber der binauralen Darbietung um 6 dB angehobenen Schalles ist. Monaurale und binaurale Lautheitsfunktion müßten also um konstant 6 dB abszissenparallel gegeneinander verschoben sein.

Chocholle (1954) konnte für die Frequenz 1 kHz zeigen, daß die binaurale Absolutschwelle um nur 3 dB niedriger liegt als die monaurale. Für den überschwelligen Bereich werden von Scharf & Buus (1986) deutlich höhere Pegeldifferenzen bei gleicher Lautheit angegeben (10 dB bei 1 kHz und 30 dB SL). Zwicker & Fastl (1990) geben als Verschiebungsbetrag 8 dB bei 20 dB SL und 6 dB bei 80 dB SL an, wobei nicht hervorgeht, auf welchen Messungen diese Beträge beruhen.

Die Daten der Versuchsreihe zur Form der Lautheitsfunktion (s.o.) lassen sich zur Frage der binauralen Lautheitssummation beim Normalhörigen heranziehen. Da es sich nur um eine kleine Stichprobe handelt ($n = 16$), ist nicht zu erwarten, daß die Lautheitsfunktionen exakt den oben mitgeteilten Normfunktionen entsprechen. Da die Pbn aber in verbundener Stichprobe untersucht wurden, geben die Ergebnisse sehr wohl Aufschluß über die Relation zwischen monauraler und binauraler Lautheitsfunktion.

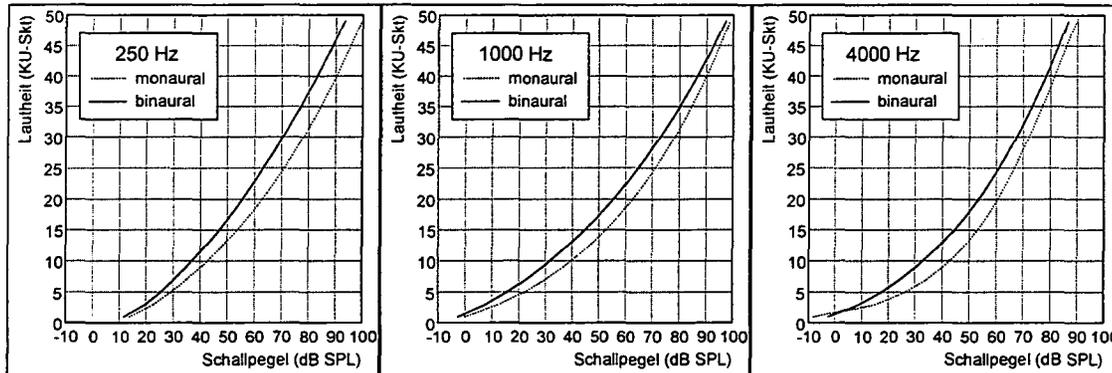


Abbildung 24: Monaurale und binaurale Lautheitsfunktionen (Nowak-Funktion, $n=16$).

Abbildung 24 gibt für die drei untersuchten Frequenzen jeweils das Funktionspaar wieder. Es ist klar ersichtlich, daß die Funktionen nicht um einen konstanten Pegelabstand gegeneinander verschoben sind. Ebensovienig ist vertikal im deutlich überschwelligen Bereich ein konstanter Lautheitsabstand festzustellen. In Abbildung 25, in der die waagrechten Abstände der Funktionspaare senkrecht über der Lautheit aufgetragen sind, treten die Relationen zwischen monauraler und binauraler Lautheitsfunktion deutlicher hervor. Die Pegeldifferenzen nähern sich in Hörschwellennähe bei allen drei Frequenzen dem 3dB-Wert. Natürlich sind die waagrechten Abstände der Funktionen im schwelennahen flachen Ast mit einem größeren Interpolationsfehler behaftet als bei höheren Lautheiten. In diesem Bereich zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Frequenzen, obwohl jeweils oberhalb eines Differenzmaximums bei niedriger bzw. mittlerer (250 Hz) Lautheit der Pegelabstand des Funktionspaars mit zunehmender Lautheit abnimmt.

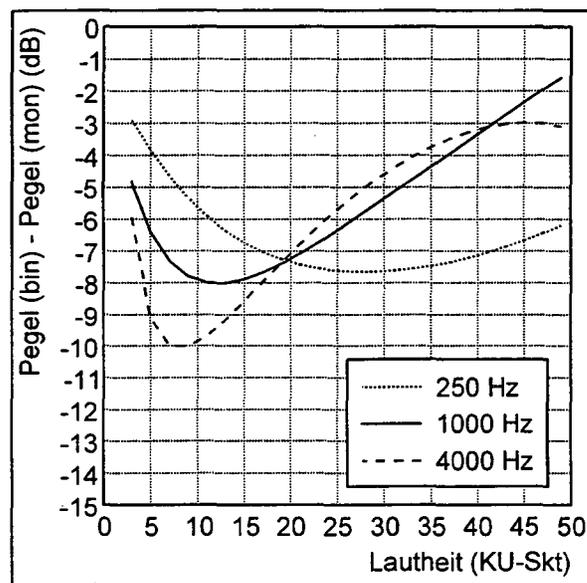


Abbildung 25: Pegelabstände der monauralen und binauralen Lautheitsfunktionen zu .25, 1 und 4 kHz in Abhängigkeit von der Lautheit; Stichprobe: 16 normalhörige Pbn.

Ob die monauralen Normfunktionen um die in Abbildung 25 gezeigten Beträge für den binauralen Untersuchungsfall korrigiert werden müssen, kann aufgrund der vorgestellten Daten nicht abschließend beantwortet werden. Die Ergebnisse einer weiteren hörfeldaudiometrischen Untersuchung (Fichtl & Müller, in Vorbereitung), in der 50 normalhörigen Pbn die Testfrequenzen .25, .5, 1, 2, 3, 4, 6 und 8 kHz mon- und binaural geboten wurden, erweitern das Bild. In dieser Studie wurde jede Frequenz mit fünf Pegeln ohne Hörschwelle untersucht. Testraum war nicht das oben beschriebene schallarme Labor, sondern ein schallgedämmter Raum, dessen Hintergrund etwas höher lag. Jeder Pb (abhängige Stichprobe) wurde zu drei verschiedenen Terminen entweder nur links oder nur rechts oder binaural beschallt. Da keine Hörschwellen gemessen wurden, müssen die Extrapolationen der kollektiv angepaßten Nowak-Funktionen ($A^*=60$) im unteren Sehr-leise-Bereich mit Vorbehalt betrachtet werden. Die Lautheitsfunktionspaare sind in Abbildung 26 dargestellt.

Die Relationen zwischen monauraler und binauraler hörfeldaudiometrischer Lautheitsfunktion, sollten durch Messungen, in denen monaurale und binaurale Lautheit im Herstellungs- oder Konstanzverfahren direkt ab- bzw. verglichen werden, abgesichert werden.

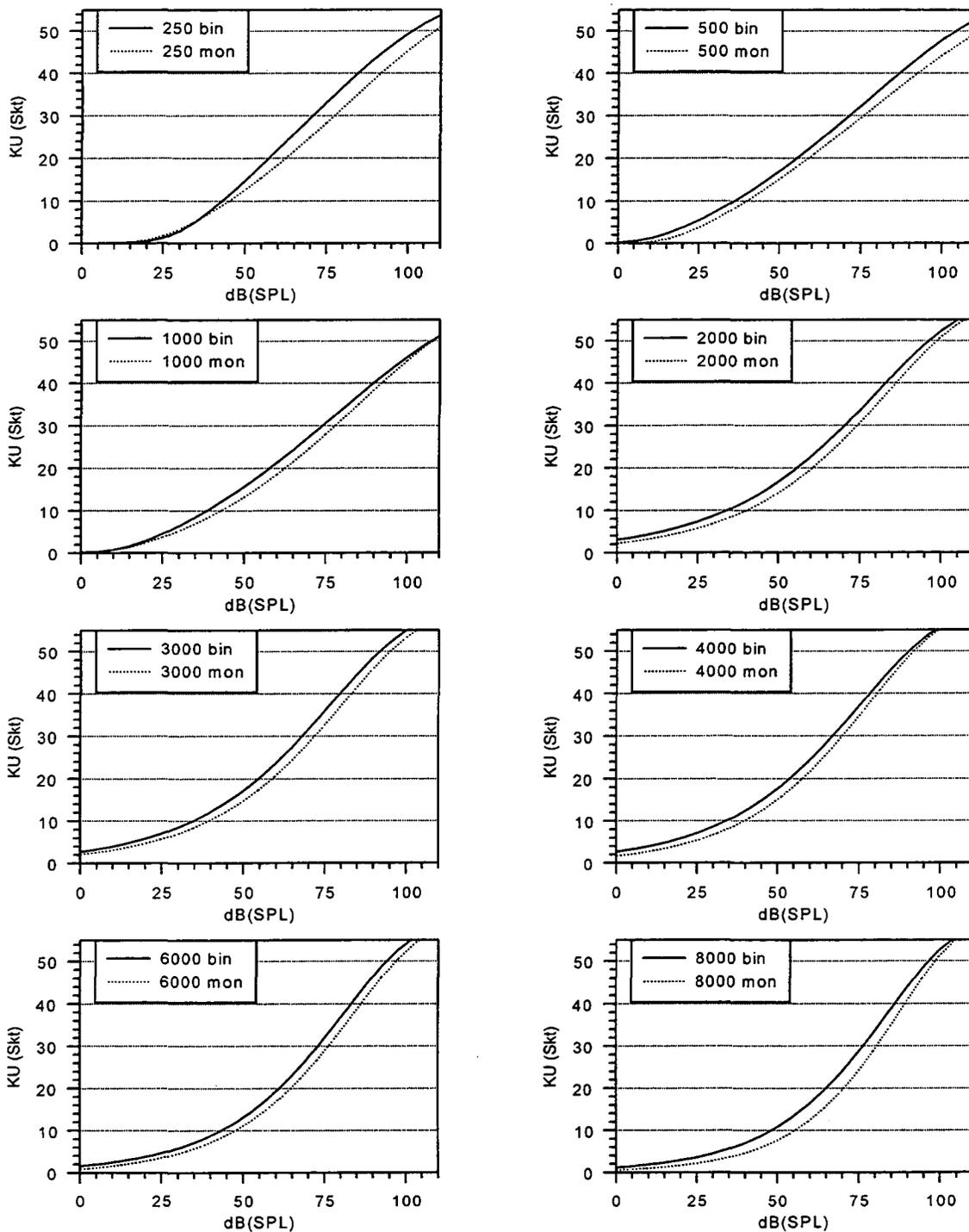


Abbildung 26: Monaurale und binaurale kollektive Lautheitsfunktionen (Nowak-Funktion, $A^* = 60$) einer Untersuchungsreihe, in der jede Frequenz anhand von fünf Pegeln in abhängiger Stichprobe ($n=50$) untersucht wurde (Fichtl & Müller, in Vorbereitung).

II - 3 Reliabilität der Hörfeldaudiometrie

Um die Genauigkeit der beschriebenen Hörfeldaudiometriemethode zu prüfen, wurde eine Stichprobe von 29 Normalhörigen und 18 überwiegend sensorineural Schwerhörigen im Abstand von etwa einer Woche zweimal hörfeldaudiometrisch untersucht. Als Schallwandler fungierten Jecklin Float model II und AKG K 1000 (je Untersuchungspaar gleicher Wandler). Bei den Normalhörigen wurde lediglich ein Ohr, bei den Schwerhörigen bis auf eine Ausnahme beide Ohren monaural getestet (insgesamt 64 Ohren). Geschulte studentische Hilfskräfte führten die Untersuchungen als Versuchsleiter durch.

An die Lautheitsdaten wurde zur Interpolation die modifizierte Fechner-Funktion

$$E = c \cdot \log \cdot \left(\frac{S + R}{R} \right)$$

angepaßt (s.o.). Diese weist zwar größere Abweichungen zur empirischen Lautheitsfunktion auf als die Nowak-Funktion, da die Funktionswerte aber zur Bestimmung von Pegeldifferenzen bei gleicher Lautheit herangezogen werden, fallen diese Abweichungen nicht ins Gewicht. Zur Reliabilitätsbestimmung wurde für die Testfrequenzen von .25 bis 8 kHz und die Lautheitsstufen sehr leise-5, leise-15, mittel-25, laut-35 und sehr laut-45 der Schallpegel für erste und zweite Messung (P1, P2) sowie die jeweilige Pegeldifferenz ermittelt, soweit keine Extrapolation in den Pegelbereich oberhalb von 5 dB über dem höchsten dargebotenen Pegel erforderlich war. Da nicht bei allen Ohren in allen Frequenzen die höheren Lautheitsgrade erreicht werden konnten, verringern sich die Fallzahlen hier entsprechend. Über die P2-P1-Korrelation bzw. die P2-P1-Differenzen läßt sich die Wiederholgenauigkeit der Hörverlustbestimmung erfassen. Die Höhe der Korrelation von P1 und P2 ist neben der Methodengenauigkeit und intraindividuellem Verlustvarianz über die Meßzeitpunkte von der interindividuellen Verlustvarianz abhängig. Diese ist infolge des Recruitments der Schwerhörigen bei den niedrigen Lautheitsgraden höher als bei höheren. Für die acht Testfrequenzen und den Grad sehr leise-5 betragen die Korrelationen: .88, .92, .87, .92, .88, .89, .92 und .90. Für mittel-25 (Verlustvarianz deutlich geringer, bei den hohen Frequenzen Anteil der im Meßbereich liegenden Schwerhörigen reduziert) ergeben sich die Werte: .85, .85, .89, .88, .80, .83, .70 und .68. Die sich mit zunehmender Lautheit verringernden Verlustvarianzen gehen sehr deutlich aus Abbildung 27 bis Abbildung 30 hervor. Über dem Hörschwellenpegel bzw. den Pegeln zu den KU-Lautheiten 5, 15, 25, 35 und 45 der ersten Messung sind je Frequenz die entsprechenden Pegel der zweiten Messung aufgetragen.

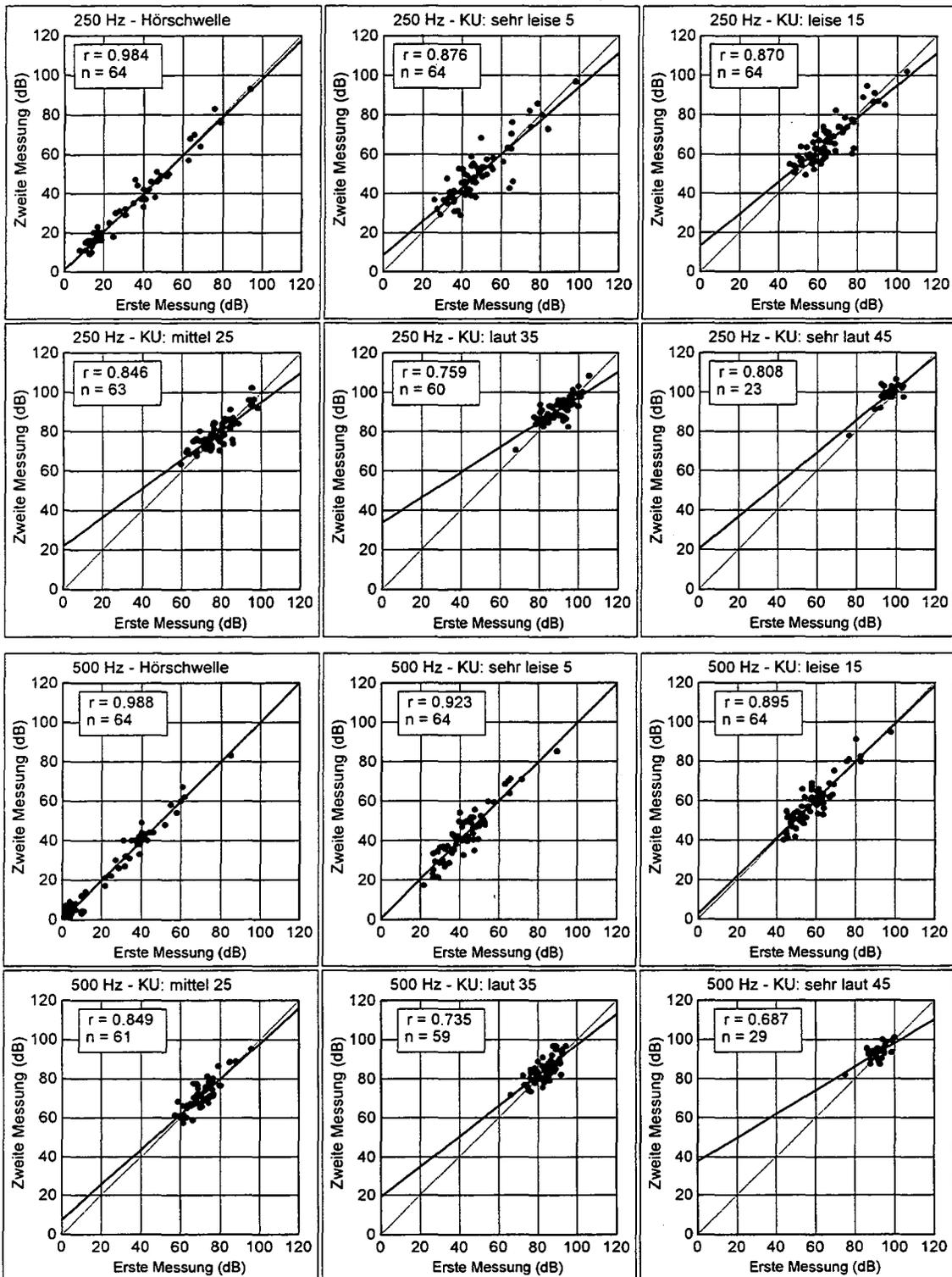


Abbildung 27: Zusammenhang zwischen erster und zweiter Messung bei 250 und 500 Hz; Hörschwellen und Pegel zu den Lautheiten KU 5, 15, 25, 35 und 45.

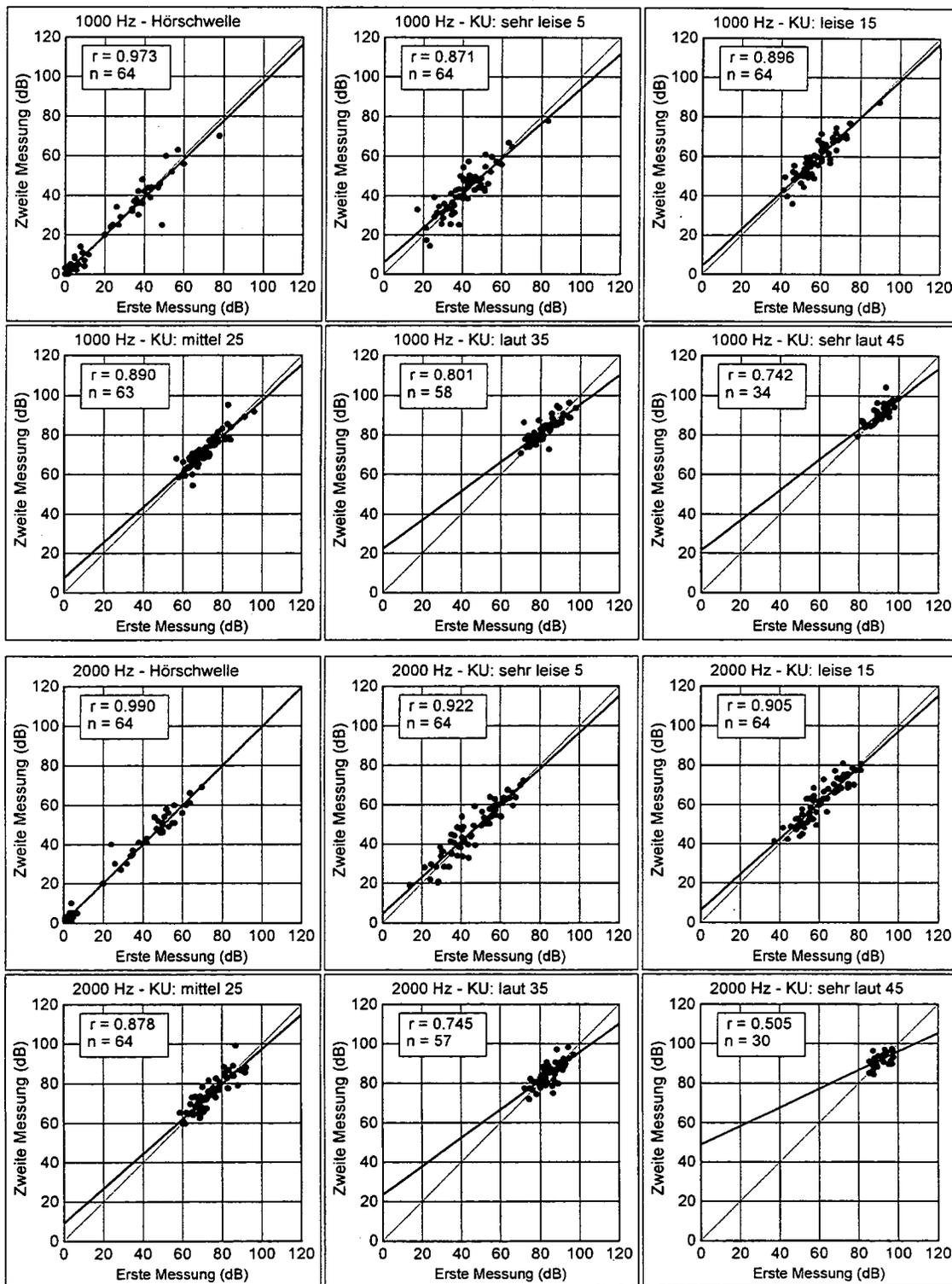


Abbildung 28: Zusammenhang zwischen erster und zweiter Messung bei 1 und 2 kHz; Hörschwellen und Pegel zu den Lautheiten KU 5, 15, 25, 35 und 45.

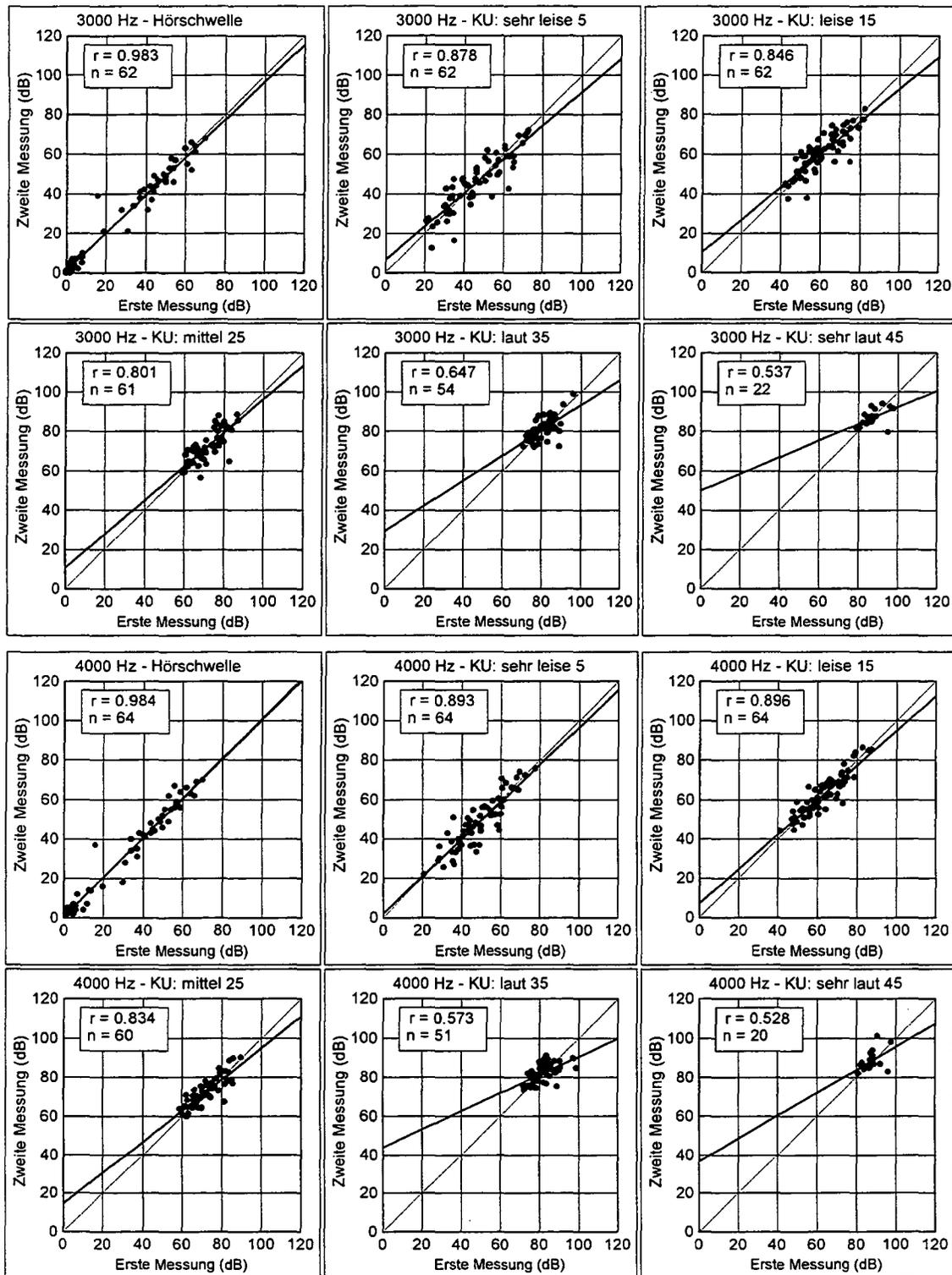


Abbildung 29: Zusammenhang zwischen erster und zweiter Messung bei 3 und 4 kHz; Hörschwellen und Pegel zu den Lautheiten KU 5, 15, 25, 35 und 45.

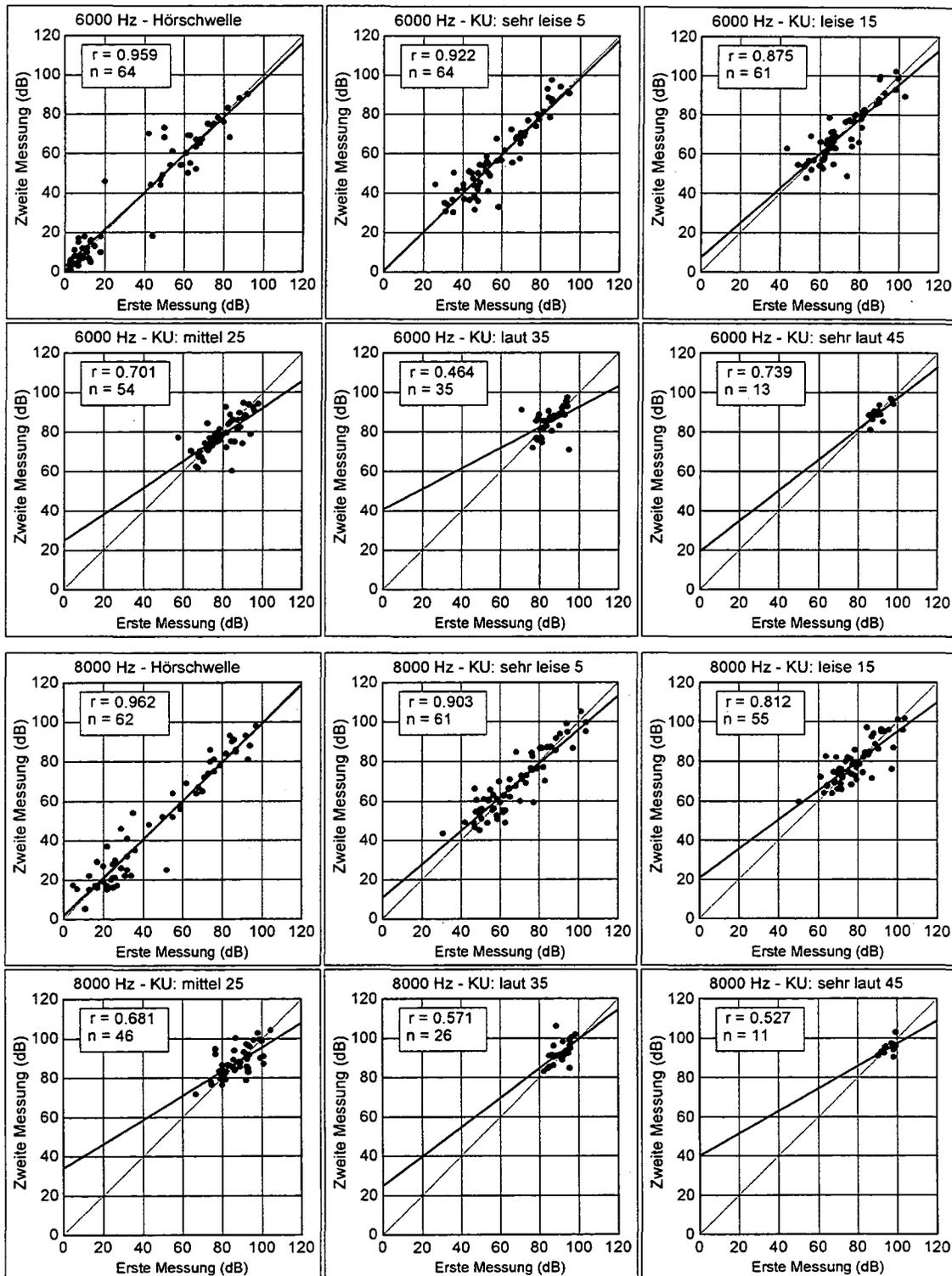


Abbildung 30: Zusammenhang zwischen erster und zweiter Messung bei 6 und 8 kHz; Hörschwellen und Pegel zu den Lautheiten KU 5, 15, 25, 35 und 45.

Ein klareres Bild schafft die Konstanz-Betrachtung über die Pegeldifferenzen P2-P1. Für die oben genannten fünf Lautheitsgrade und jede Testfrequenz wurde die Verteilung der P2-P1-Differenzen bestimmt. Die über die Lautheiten gemittelten P2-P1-Differenzen-Verteilungen sind mit Mittelwerten nahe 0 gut normalverteilt und haben für die acht Testfrequenzen - über die Lautheitsniveaus gemittelt - folgende Standardabweichungen: 4.45,

4.90, 3.69, 4.21, 3.93, 4.11, 3.68 und 3.89 dB. Der Mittelwert 0 bedeutet, daß keine systematische Verschiebung zwischen erster und zweiter Messung vorliegt.

In Abbildung 31 bis Abbildung 34 sind frequenz- und lautheitsabhängig die Verteilungen der Pegeldifferenzen, die zwischen erster und zweiter Messung festzustellen waren, dargestellt. Die Gauß-Interpolationen der Verteilungen zeigen, daß die Differenzen weitgehend normalverteilt sind.

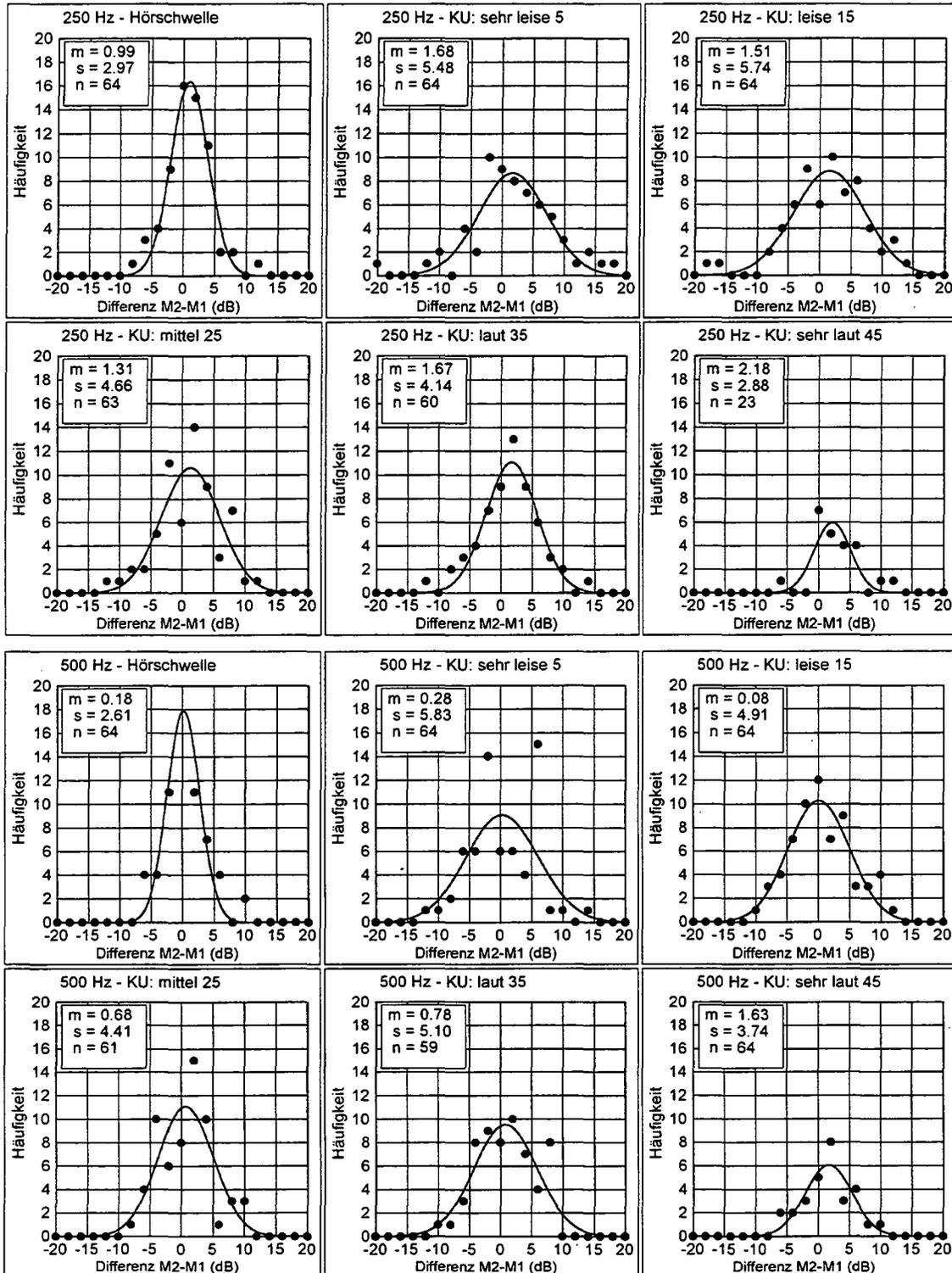


Abbildung 31: Verteilung der Differenz zwischen Pegeln gleicher Lautheit bei erster und zweiter Messung, .25 und .5 kHz; Lautheitsniveaus: Hörschwelle, KU 5, 15, 25, 35 und 45. Gauß-Interpolation der Verteilung mit Parametern Mittelwert (m) und Standardabweichung (s).

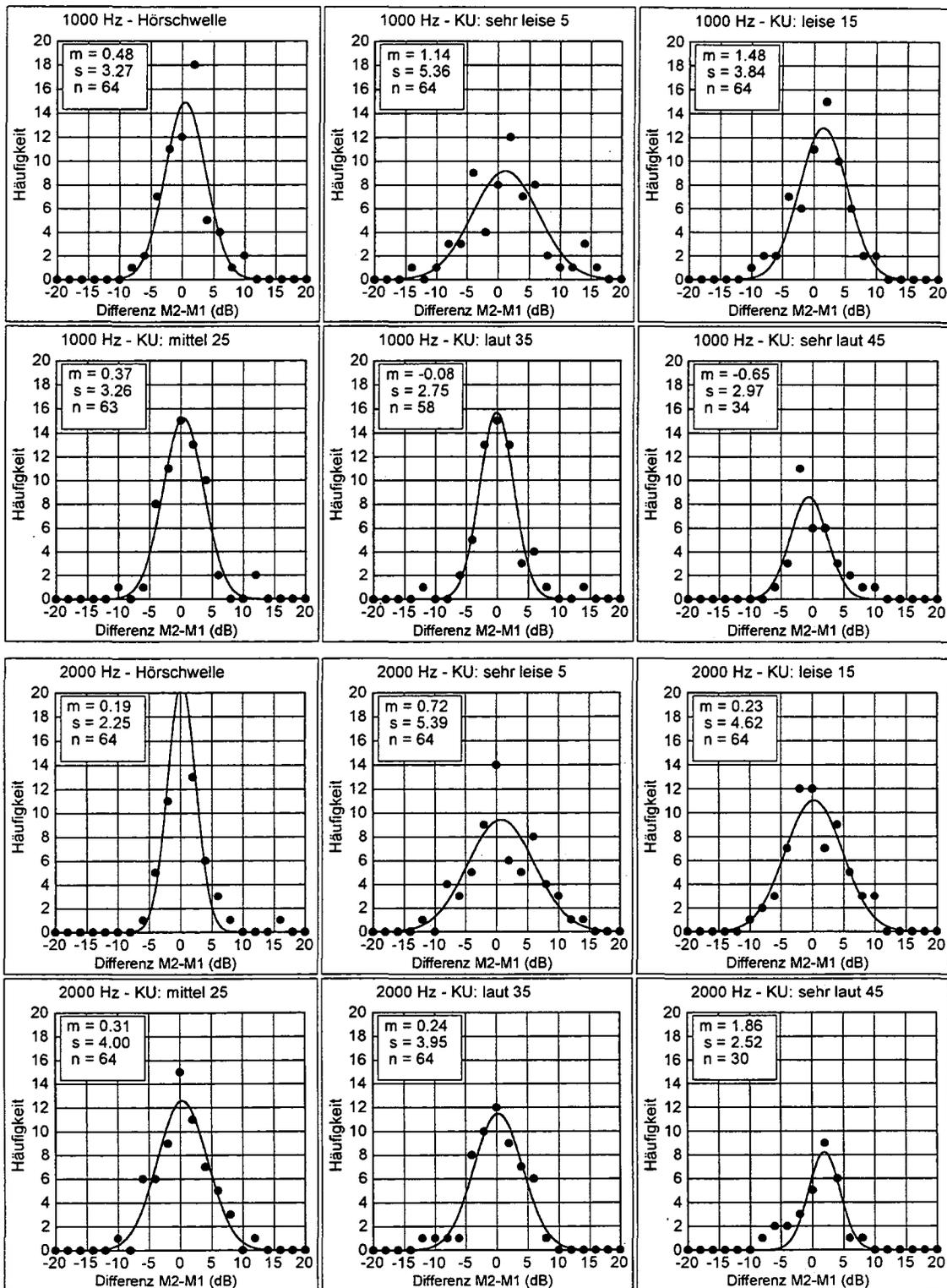


Abbildung 32: Verteilung der Differenz zwischen Pegeln gleicher Lautheit bei erster und zweiter Messung, 1 und 2 kHz; Lautheitsniveaus: Hörschwelle, KU 5, 15, 25, 35 und 45. Gauß-Interpolation der Verteilung mit Parametern Mittelwert (m) und Standardabweichung (s).

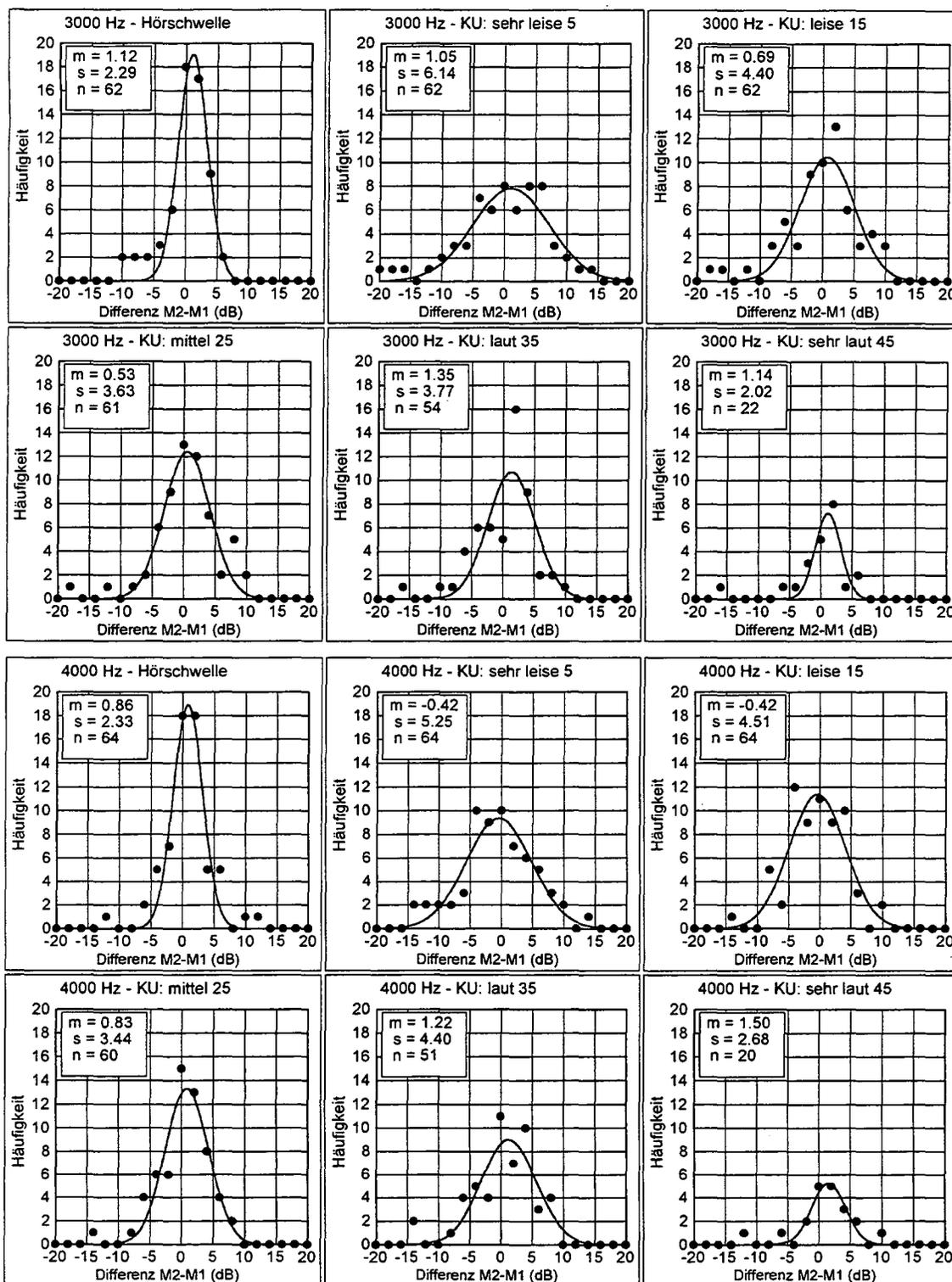


Abbildung 33: Verteilung der Differenz zwischen Pegeln gleicher Lautheit bei erster und zweiter Messung, 3 und 4 kHz; Lautheitsniveaus: Hörschwelle, KU 5, 15, 25, 35 und 45. Gauß-Interpolation der Verteilung mit Parametern Mittelwert (m) und Standardabweichung (s).

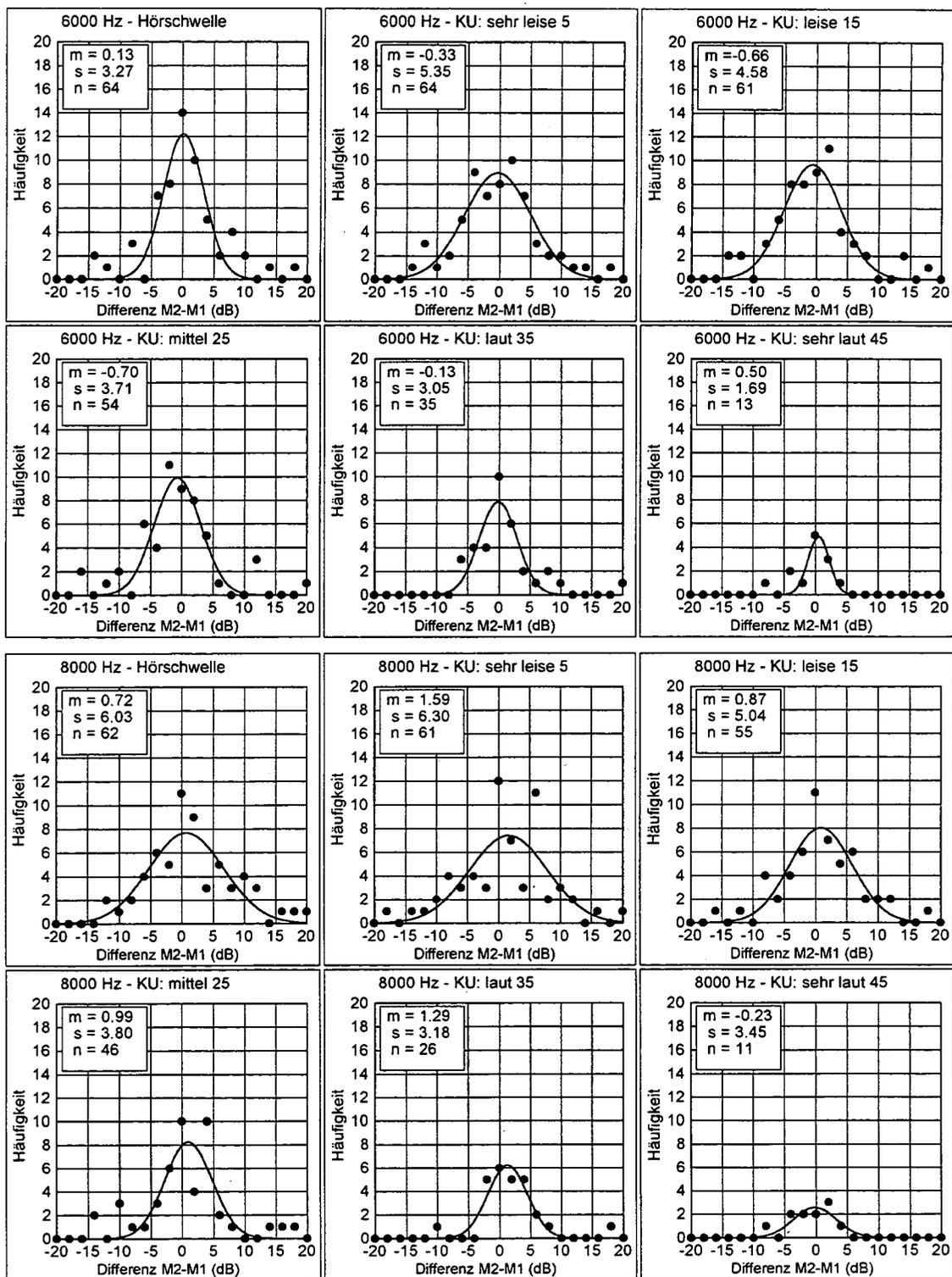


Abbildung 34: Verteilung der Differenz zwischen Pegeln gleicher Lautheit bei erster und zweiter Messung, 6 und 8 kHz; Lautheitsniveaus: Hörschwelle, KU 5, 15, 25, 35 und 45. Gauß-Interpolation der Verteilung mit Parametern Mittelwert (m) und Standardabweichung (s).

Wenn man über Lautheitsniveau und Frequenz zusammenfaßt (Hörschwelle weggelassen), ergibt sich die Differenzenverteilung, die in Abbildung 35 dargestellt ist.

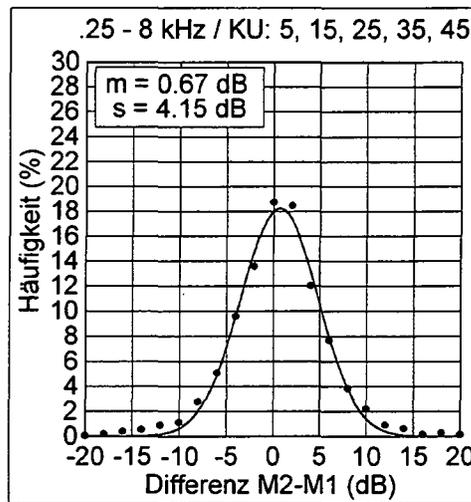
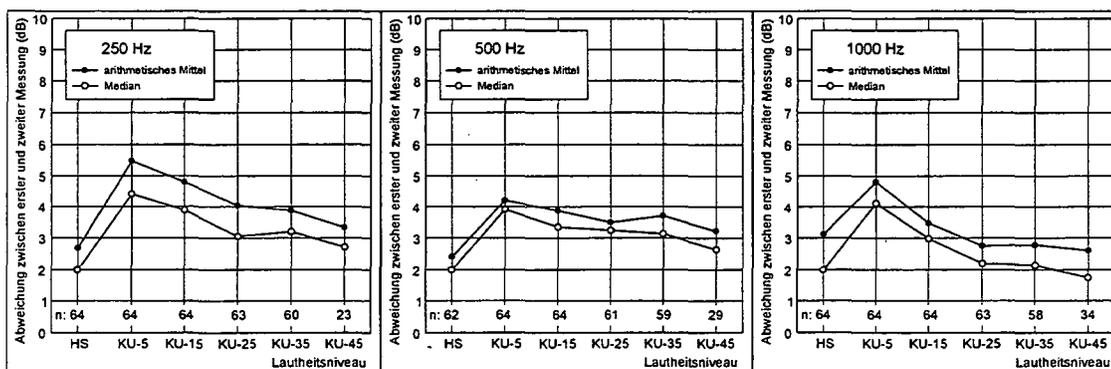


Abbildung 35: Über Frequenz und Lautheitsniveau zusammengefaßte Pegeldifferenzenverteilung (Messung 2 - Messung 1).

Zur Beschreibung der asymmetrischen Verteilung der Absolutbeträge der P2-P1-Differenzen sollte der Median (hier: wahrscheinlicher Fehlerbetrag) betrachtet werden. Abbildung 36 zeigt ihn frequenz- und lautheitsabhängig zusammen mit dem arithmetischen Mittel. Bei sehr leise und leise liegen die Werte etwas höher als bei mittel, laut und sehr laut. Die Abweichungen an der Hörschwelle liegen deutlich niedriger. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß die Hörschwellen direkt ermittelt sind, die Pegel zu sehr leise und leise im flacheren Ast der angepaßten Lautheitsfunktion mit einem größeren Interpolationsfehler behaftet sind als die Pegel im lauterem Bereich, in dem die Lautheitsfunktion steiler über dem Schallpegel ansteigt. Eine Frequenzabhängigkeit ist nur ansatzweise erkennbar.

Das Gesamtmittel der Differenzbetragsmediane liegt bei nur 3.02 dB. Dies bedeutet, daß die Hörfeldaudiometrie als diagnostisches Verfahren zur Messung des Lautheitsverlusts hohe Reliabilität aufweist. Die intraindividuelle Stabilität der Lautheitsbeschreibungen liegt deutlich über der interindividuellen Konsistenz, die in den beiden Normstichproben festzustellen war.



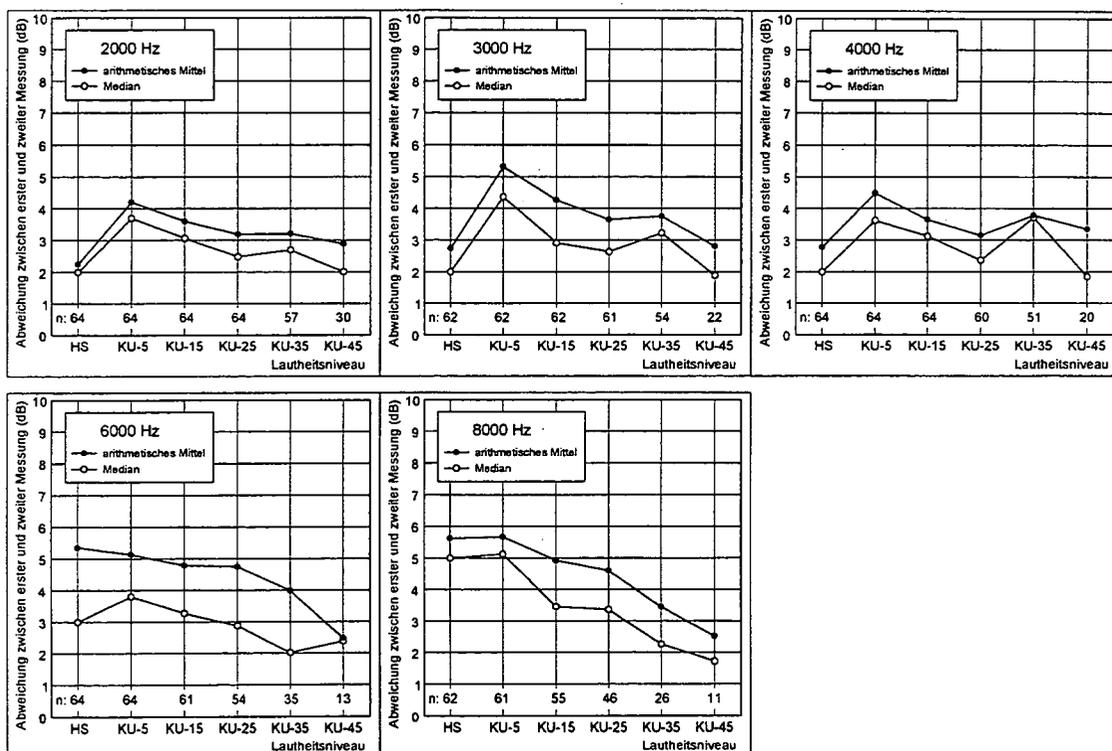


Abbildung 36: Median und Mittelwert der Abweichungsbeträge (ohne Berücksichtigung der Richtung) in Abhängigkeit von Frequenz und Lautheitsniveau.

II - 4 Validität der Hörfeldaudiometrie

II - 4.1 Frequenzabstandsabhängige Interkorrelation der Hörverluste

Ein Kriterium zur Validitätsprüfung der Hörfeldaudiometrie - wenn auch für sich allein nicht hinreichend - läßt sich für die hörfeldaudiometrischen Daten einer bezüglich des Hörverlusts gemischten Stichprobe ohne Rückgriff auf die Daten einer externen Methode formulieren. Soll die Hörfeldaudiometrie sensitiv für frequenzspezifische Hörverluste sein, so sollten Hörverluste bei ähnlichen Frequenzen stärker korreliert sein als bei unähnlichen.

Die Daten der Reliabilitätsstichprobe zeigen deutlich diese Abhängigkeit der Verlustkorrelation vom Frequenzabstand. Für die entsprechende Auswertung wurden die Schallpegel der verschiedenen Lautheitsniveaus über die beiden Messungen gemittelt. Für die Korrelationsbetrachtung wählen wir als Lautheitsniveau "leise". Für diese Lautheit streuen die Pegel innerhalb der Stichprobe deutlich. In Abbildung 37 sind die Zusammenhänge zwischen den isophonen Schallpegeln zur Lautheit KU-15 für je zwei Frequenzen zu sehen. Die Anordnung der Graphiken gibt dabei die Interkorrelationsmatrix des Frequenzensatzes wieder. Je Frequenzkombination lagen nicht immer 64 Meßwertpaare vor, da bei einigen Schwerhörigen mit starkem Ausfall im Hochtonbereich KU-15 nicht sicher bestimmt werden konnte.

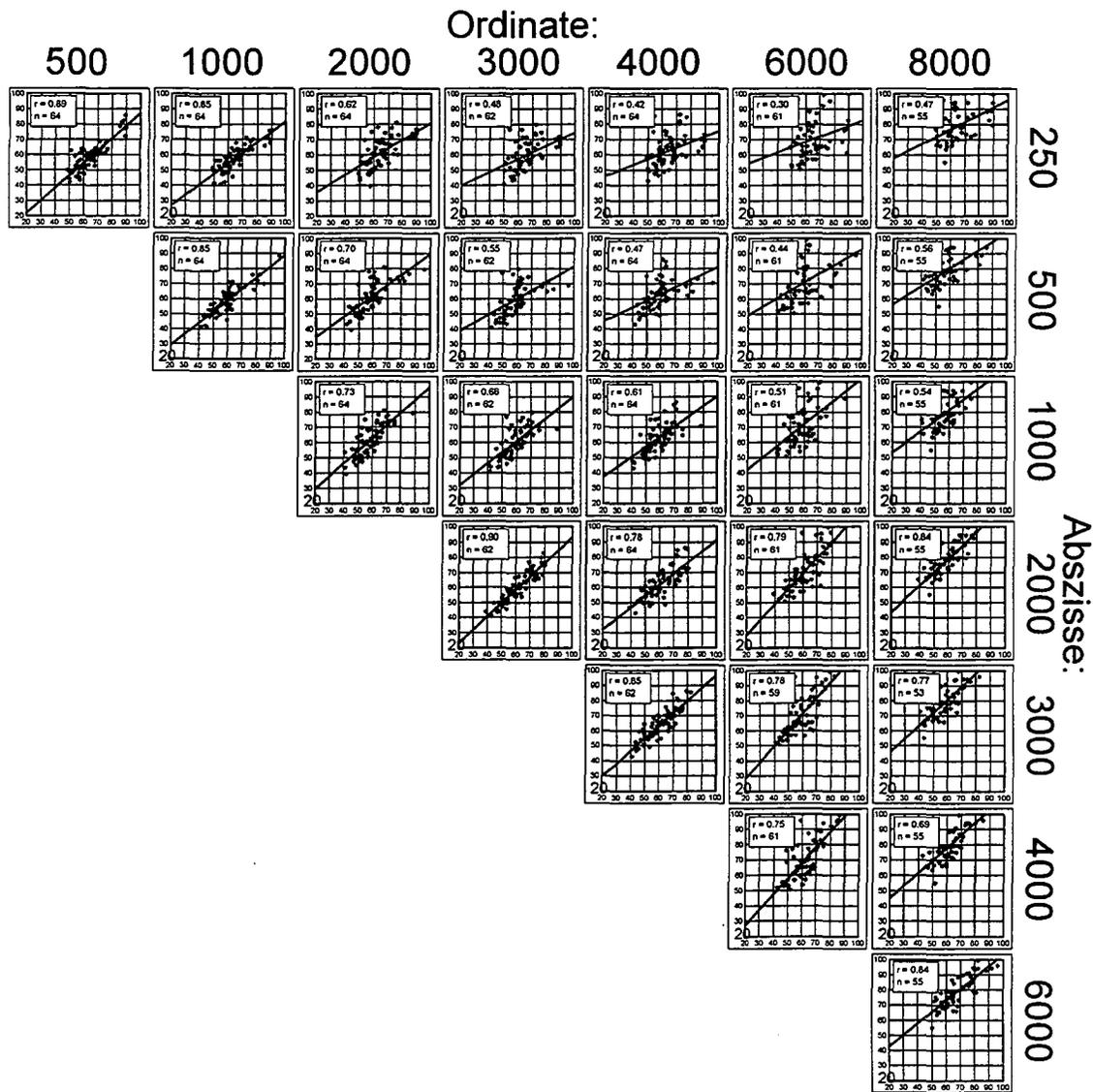


Abbildung 37: Interkorrelationsmatrix der Schallpegel, denen bei den verschiedenen Testfrequenzen die Lautheit KU-15 entspricht. Die einzelnen Zeilen zeigen jeweils auf der Abszisse den KU-15-Pegel der gleichen Frequenz, die einzelnen Spalten auf der Ordinate den KU-15-Pegel der gleichen Frequenz.

Je Frequenzkombination sind Fallzahl und Korrelationskoeffizient angegeben. Es ist klar erkennbar, daß mit zunehmendem Frequenzabstand die Korrelation sinkt. Beschränkt man sich bei allen Frequenzkombinationen auf die minimale Wertestichprobe ($n=53$), so resultiert die in Tabelle 5 dargestellte Interkorrelationsmatrix. Mit zunehmendem Frequenzabstand sinkt die Korrelation.

Tabelle 5: Interkorrelationsmatrix isophoner Schallpegel (KU-15) bezüglich des Testfrequenzensatzes.

	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	3000 Hz	4000 Hz	6000 Hz	8000 Hz
250 Hz	1	0.90	0.85	0.63	0.54	0.41	0.35	0.46
500 Hz	0.90	1	0.85	0.73	0.65	0.54	0.48	0.55
1000 Hz	0.85	0.85	1	0.73	0.70	0.59	0.50	0.53
2000 Hz	0.63	0.73	0.73	1	0.90	0.76	0.82	0.85

3000 Hz	0.54	0.65	0.70	0.90	1	0.82	0.80	0.77
4000 Hz	0.41	0.54	0.59	0.76	0.82	1	0.75	0.68
6000 Hz	0.35	0.48	0.50	0.82	0.80	0.75	1	0.84
8000 Hz	0.46	0.55	0.53	0.85	0.77	0.68	0.84	1

II - 4.2 Validierung durch Isophonenaudiometrie

Aus den Hörfeldaudiometrieergebnissen lassen sich über die Testfrequenzen zu beliebigen Lautheiten Pegelsätze gleicher Lautheit berechnen (Isophonen).

Die aus den Normlautheitsfunktionen berechneten Isophonen zeigen große Formähnlichkeit mit den von Robinson & Dadson (1956) mitgeteilten Kurven (s.o.) Müller & Fichtl (1994) konnten in einer Untersuchung an normalhörigen Pbn bei hörfeldaudiometrischen Isophonen und Pegelsätzen, auf die bei verschiedenen Testfrequenzen im Einfachreaktionsversuch gleich schnell reagiert wird (Isochronen), weitgehende Übereinstimmung feststellen.

Um zu prüfen, wie treu die gleich-laut-Relation bei Hörverlustvarianz in der Hörfeldaudiometrie abgebildet wird, wurde eine Stichprobe aus 37 weitgehend Normalhörigen und 17 vorwiegend sensorineural Schwerhörigen hörfeld- und isophonenaudiometrisch untersucht (Schallwandler AKG K 1000). Zur Isophonenbestimmung über die Frequenzen .25, 1, und 4 kHz wurde eine adaptive Variante des Konstanzverfahrens (AKV) angewandt. Verglichen wurden die Frequenzpaare .25-1 kHz und 1-4 kHz, wobei jede Frequenz des Paares als pegelfixer Standard (St) sowie als pegelvariabler Vergleich (Vg) zum Einsatz kam.

Der St wurde bei etwa einem Viertel der Pbn auf mittel-25, bei der Mehrzahl der übrigen auf leise-15 gesetzt. Die entsprechenden Schallpegel waren in der vorherigen Hörfeldaudiometrie ermittelt worden. St und Vg wurden in den Abfolgen St-Vg-St-Vg und Vg-St-Vg-St geboten. Der Pb stufte die Darbietungen 2/4 im Vergleich zu 1/3 als lauter, gleich oder leiser ein. Die Vg-Reihe wurde mit einem deutlich lauterem (absteigend) oder deutlich leiserem Geräusch (aufsteigend) begonnen, dann solange in 12-dB-Stufen erhöht bzw. erniedrigt, bis die gegen-teilige Einstufung erfolgte. Die Vg-Änderungsrichtung kehrte sich um, und der Gleich-Bereich wurde in 6-dB-Schritten durchlaufen, schließlich in 3-dB-Schritten bei nochmaliger Änderungsumkehr. Das Mittel aus den beiden Gleich-Bereichs-Rand-Pegeln des letzten Durchlaufs stellt den Schätzer des isophonen Pegels. Die sich für die beiden Frequenzpaare je Pb ergebenden acht Pegelabstandswerte (auf-, absteigende Reihe; St-Vg-Folge; St-, Vg-Frequenz) wurden gemittelt.

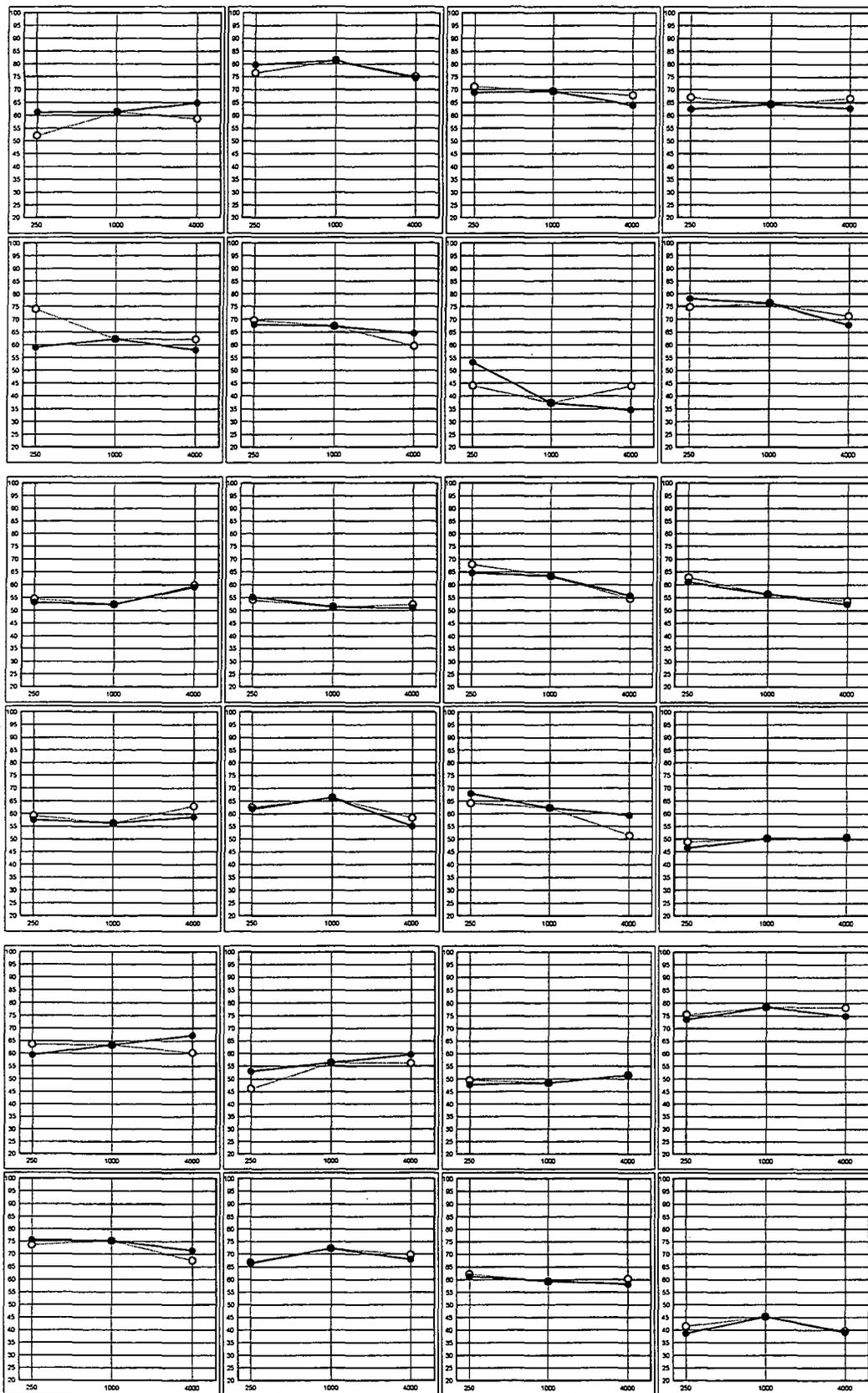


Abbildung 38: Individuell hörfeldaudiometrisch (gestrichelte Linie, leere Kreise) und im adaptiven Konstanzverfahren (durchgezogene Linie, gefüllte Kreise) bestimmte Isophonen zu den Frequenzen .25, 1 und 4 kHz; Abszisse: Frequenz (Hz), Ordinate Schallpegel (dB SPL); individuelle Daten Teil 1.

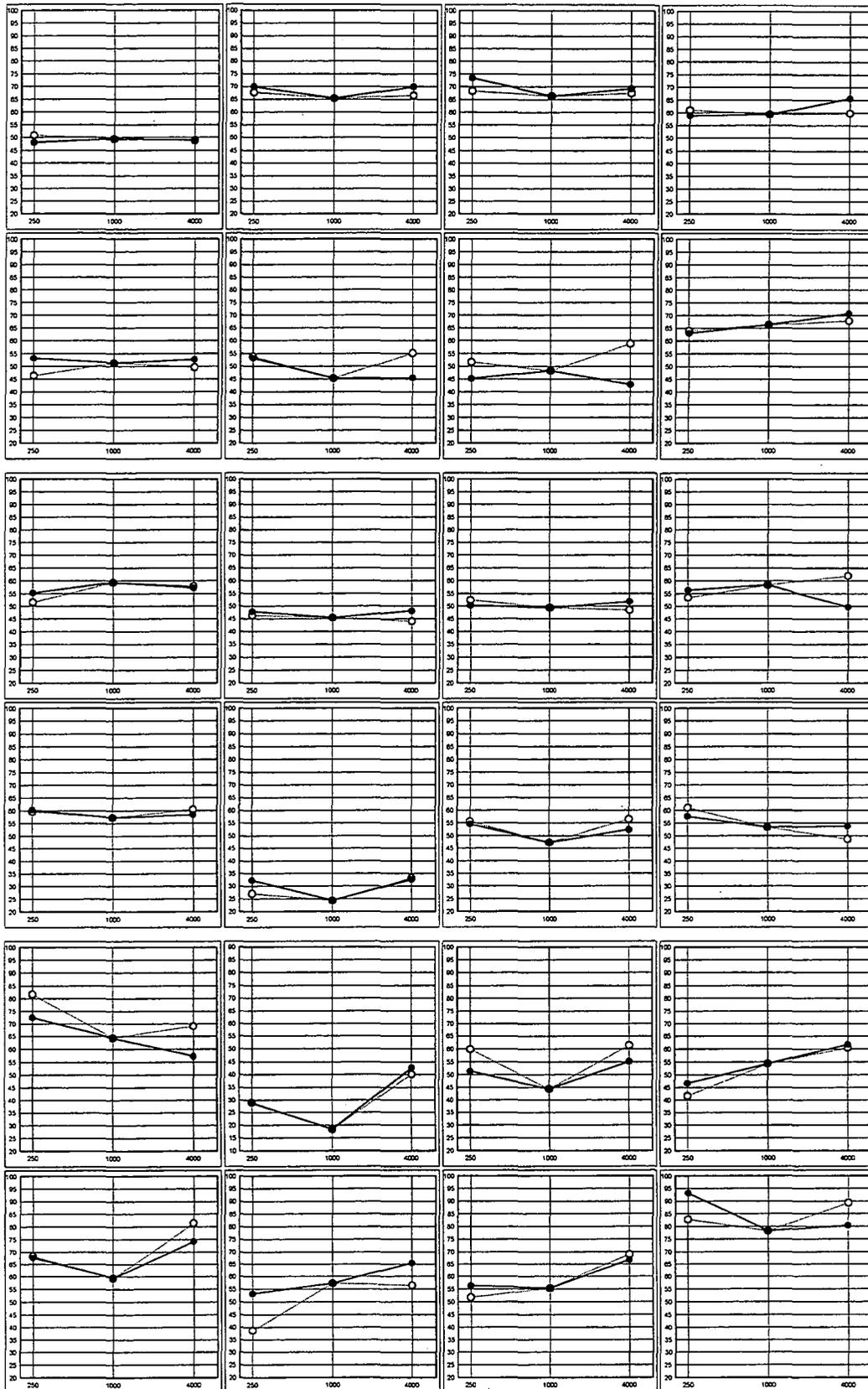


Abbildung 39: Individuell hörfeldaudiometrisch (gestrichelte Linie, leere Kreise) und im adaptiven Konstanzverfahren (durchgezogene Linie, gefüllte Kreise) bestimmte Isophonen zu den Frequenzen .25, 1 und 4 kHz; Abszisse: Frequenz (Hz), Ordinate Schallpegel (dB SPL); individuelle Daten Teil 2.

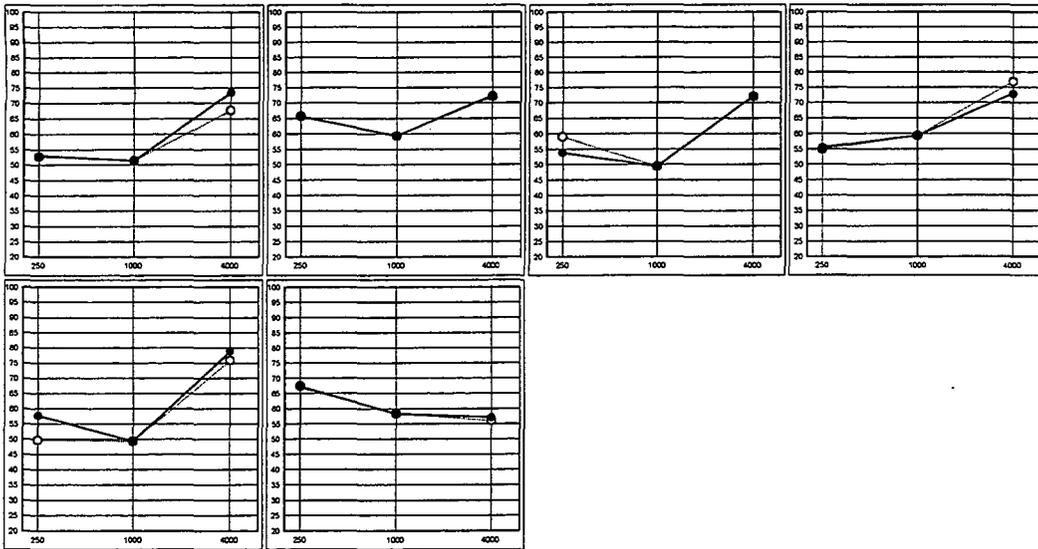


Abbildung 40: Individuell hörfeldaudiometrisch (gestrichelte Linie, leere Kreise) und im adaptiven Konstanzverfahren (durchgezogene Linie, gefüllte Kreise) bestimmte Isophonen zu den Frequenzen .25, 1 und 4 kHz; Abszisse: Frequenz (Hz), Ordinate Schallpegel (dB SPL); individuelle Daten Teil 3.

In Abbildung 38 bis Abbildung 40 sind die individuellen Ergebnisse der beiden Isophonenbestimmungen dargestellt. Neben einigen Resultaten, die deutliche Abweichungen zwischen den beiden Methoden zeigen, steht eine große Zahl von Fällen, in denen beide Methoden sehr ähnliche Isophonen ergeben. Wir haben für jeden Pb je Frequenz (.25 und 4 kHz) die Differenz zwischen im Konstanzverfahren ermitteltem Pegel und demjenigen, den die Hörfeldaudiometrie erbrachte, bestimmt. Abbildung 41 zeigt die interindividuellen Verteilungen der beiden Parameter.

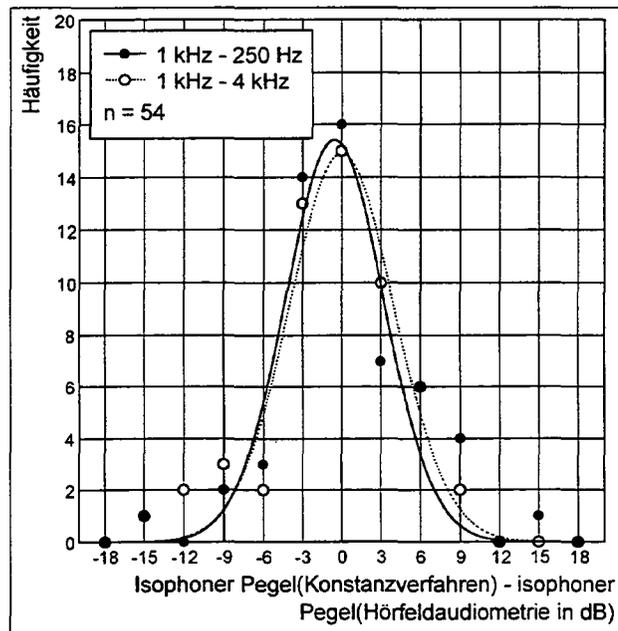


Abbildung 41: Verteilung der individuellen Abweichungen zwischen den isophonen Pegeln, die adaptives Konstanzverfahren und Hörfeldaudiometrie ergaben, je Frequenz; Gauß-Verteilung angepaßt.

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Differenzen der im AKV gewonnenen und der hörfeldaudiometrisch bestimmten Pegelabstände für das Paar 1 kHz-250 Hz und 1 kHz-4 kHz. Die beiden Differenzverteilungen sind annähernd normal verteilt. Die angepaßten Gauß-Funktionen haben die Mittelwerte -0.55 dB (.25 kHz) und 0.00

dB (4 kHz) und die Standardabweichungen 3.77 dB (.25 kHz) und 4.04 dB (4 kHz). Dies bedeutet hohe Übereinstimmung der beiden Verfahren zur Bestimmung isophoner Pegel. Veränderungen der Isophonenform, d.h. Veränderungen der Gleich-laut-Relation verschiedenfrequenter schmalbandiger Schalle infolge von Hörverlusten werden in der hörfeldaudiometrischen Diagnose adäquat abgebildet.

Die Hörfeldaudiometrie erweist sich als ein präzises Verfahren zu Diagnose des Lautheitsverlusts. Nicht erschöpfend geklärt ist die Frage der adäquaten Reizabfolge. Bei den einzelnen hörfeldaudiometrischen Untersuchungen von normal- oder schwerhörigen Pbn war die Abfolge entweder rechnergesteuert vorgegeben oder adaptiv vom VI gestaltet. Die Auswertung reihenfolgebezogener Abweichungen der Lautheitseinstufung von der individuellen Lautheitsfunktion und der Antwortzeiten, die beim größten Teil der Messungen erhoben wurden, könnten weitere Hinweise zur Optimierung der Abfolge bringen.

Zur Frage der binauralen Summation wird eine Studie, in der dasselbe Pbn-Kollektiv sowohl bei Kopfhörer- als auch bei Lautsprecherbeschallung hörfeldaudiometrisch untersucht wurde, Ergänzungen beitragen. Es ist deutlich geworden, daß die Hörfeldaudiometrie nicht nur als Schwerhörigkeitsdiagnostikum, sondern als Forschungsmethode zur Psychoakustik des Normalhörenden erfolgreich eingesetzt werden kann. Neben der binauralen Summation und der Isophonenbestimmung ist die Quantifizierung der Lautheitsdrosselung durch Störgeräusche zu nennen. Über diesbezügliche Ergebnisse muß an anderer Stelle berichtet werden.

Eine wichtige Frage ist, wie stark die Präzision der Hörfeldaudiometrie vom instruktiven und experimentellen Geschick des VI abhängt. Diesbezügliche Analysen der Daten unserer Versuche, die von einer Reihe studentischer Hilfskräfte geleitet wurden, werden Aufschluß über die Varianz bringen, die auf die Person des VI zurückgeht.

In den Reihenuntersuchungen bei der AOK und auf der Mainfrankenmesse erwiesen sich Kurzversionen der Hörfeldaudiometrie als praktikables Screening-Verfahren zur Entdeckung von Hörverlusten und zur Überprüfung von Hörgeräteanpassungen.

Die angegebene Meßprozedur gestattet die präzise und valide Quantifizierung des frequenz- und pegelabhängigen überschwelligeren Lautheitsverlusts. Ebenso läßt sich die Verstärkungscharakteristik eines Hörgeräts pegel- und frequenzabhängig beurteilen. Die erhobenen Normlautheitsfunktionen stellen eine solide Grundlage für die Normierung des Verfahrens dar. Selbstverständlich ist das bisher entwickelte Verfahren aufgrund des verwendeten stationären Reizmaterials nicht in der Lage, Lautheitsverluste und Lautheitskorrekturen bei stark zeitvarianten Schallen zu erfassen. Diesbezügliche Untersuchungen stehen aus.

Die nachfolgenden Abschnitte behandeln zum einen das Problem von Serie, Abfolge und Orientierung in der Hörfeldaudiometrie, andererseits die Frage der Einsetzbarkeit der contralateralen Maskierung in der Hörfeldaudiometrie. Weiter werden die Ergebnisse der Überhörabstandsmessungen mitgeteilt. Außerdem hat uns Herr Dr. Theo Nowak freundlicherweise gestattet, seinen Artikel zur Lautheitsfunktion beizufügen.

II - 5 Literatur

BORETZKI, M., HELLER, O., KNOBLACH, W., FICHTL, E., STOCK, A., OPITZ, M. (1994): *Untersuchungen zur Reliabilität und Sensitivität der Hörfeldaudiometrie*. In: Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Fachbeiträge der 20. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik, DAGA 1994, Dresden.

BORETZKI, M., KNOBLACH, W., FICHTL, E., STOCK, A., MAY, B., HELLER, O. (1996): *Hörfeldaudiometrische Lautheitsfunktionen normalhöriger Probanden*. In: Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Fachbeiträge der 22. Jahrestagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik, DAGA 1996, Bonn (im Druck).

CHOCOLLE, R. (1954): *Etude statistique des seuils auditifs monauraux et binauraux; interpretation des resultats*. *Acustica*, 4, 341-350.

FICHTL, E. (1996): Arbeitstitel: *Urteils-effekte bei der Hörfeldaudiometrie*. Inauguraldissertation, Universität Würzburg (in Vorbereitung).

ELLERMEIER, W., HELLBRÜCK, J., HELLER, O., NOWAK, T. (1985): *Direkte Skalierung binauraler Lautheitssummation: Ein neues psychophysikalisches Modell*. *Psychologische Beiträge*, 27, 509-519.

GABRIEL, B., KOLLMEIER, B., MELLERT, V. (1995): *Kontexteffekte bei der Bestimmung der Kurven gleicher Pegellaustärke*. In: Fortschritte der Akustik, 21. Deutsche Jahrestagung für Akustik, Kolloquien, Plenarvorträge und Fachbeiträge, DAGA 1995, Saarbrücken.

- HELLBRÜCK, J., MOSER, L. (1985): *Hörgeräteaudiometrie: Ein computergestütztes psychologisches Verfahren zur Hörgeräteanpassung*. Psychologische Beiträge 27, 494-508.
- HELLER, O. (1982): *Theorie und Praxis des Verfahrens der Kategorienunterteilung (KU)*. In: O. Heller (Hrsg.), Forschungsbericht 1981. Würzburg: Psychologisches Institut, Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie, S. 1-15.
- HELLER, O. (1985): *Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienunterteilung (KU)*. Psychologische Beiträge 27, 509-519.
- HELLER, O. (1991): *Orientated Category Scaling of Loudness and Spechaudiometric Validation*. In: A. Schick, J. Hellbrück, R. Weber (Eds.): Contributions to Psychological Acoustics V. Results fo the Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, S. 135-159.
- MÜLLER, F. (1987): *Skalierung und Bezugssystem der Tonheit*. Inauguraldissertation, Universität Würzburg.
- MÜLLER, F., FICHTL, E. (1994): *Kategorien-Unterteilungs-Isophonen und Isochronen der Lautheit*. In: Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Fachbeiträge der 20. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik, DAGA 1994, Dresden.
- NOWAK, T. (1990): *Loudness scaling based on Fechner's idea*. In: Müller, F. (Hrsg.), Fechner Day 90, Proceedings of the Sixth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics. Würzburg, S. 140-145.
- NOWAK, T. (1991): *Ein Modell der Lautheitswahrnehmung*. In: Krüger, H.-P., Experimentelle Beiträge zu einer Metrik des Psychischen. Unveröffentlichte Festschrift, Otto Heller zum 65. Geburtstag, Würzburg, S. 83-92.
- PARDUCCI, A., PERRETT, L.F. (1971): *Category rating scales: effects of relative spacing and frequency of stimulus values*. Journal of Experimental Psychology Monograph, 89, 427-452.
- ROBINSON, D.W., DADSON, M.A. (1956): *A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones*. British Journal of Applied Physics, 7, 166-181.
- SCHARF, B., BUUS, S. (1986): *Audition I. Stimulus, physiology, thresholds*. In: Boff, K.R., Kaufman, L., Thomas, J.P., Handbook of Perception and Human Performance. Vol. I, Sensory Processes and Perception. New York: Wiley.
- WITTE, W. (1960): *Experimentelle Untersuchungen von Bezugssystemen*. I. Struktur, Dynamik und Genese von Bezugssystemen. Psychologische Beiträge, 4, 218-252.
- WITTE, W. (1966): *Das Problem der Bezugssysteme*. In: K. Gottschadt, F. Sander, Ph. Lersch, H. Thomae (Hrsg.), Handbuch der Psychologie in 12 Bänden, Bd. I 1, Erkennen und Wahrnehmen. Göttingen, S. 1003-1027.
- WITTE, W. (1975): *Zum Gestalt- und Systemcharakter psychischer Bezugssysteme*. In: S. Ertel, L. Kemmler, M. Stadler (Hrsg.), Gestalttheorie in der modernen Psychologie. Darmstadt: Steinkopff, S. 76-93.
- ZWICKER, E., FASTL, H. (1990): *Psychoacoustics. Facts and models*. Berlin: Springer.

II - 6 Zum Problem der Wirkung von Serie, Reizabfolge und Orientierung

Eine der Grundregeln der Skalierung ist die zufällige Abfolge der Reizdarbietungen. Sie geht auf die Erfahrung zurück, daß die Folge der zu beurteilenden Reize systematische Fehler, sogenannte Kontexteffekte, produziert. Da man im allgemeinen eine Normalverteilung dieser Kontextwirkungen voraussetzen kann, minimiert sich dieser Fehler bei der Auswertung von Kollektivdaten, wenn jeder Pb eine andere, durch Zufall bestimmte Reizabfolge erhalten hat.

Die Praxis der Hörfeldaudiometrie hat das Problem, daß zumeist pro Person nur eine Reizserie pro Frequenz geboten werden kann. Eine mehrfache Wiederholung würde, ganz abgesehen vom Zeit- und Kostenaufwand, den Patienten derart belasten, langweilen oder ermüden, daß hierdurch neue, unkontrollierte Fehlervarianz entsteht. Die somit notwendige feste Abfolge der Reizdarbietung erweist sich als ein Problem von weitreichender theoretischer und praktischer Bedeutung, denn die Güte der Lautheitsfunktionen, ihre Reliabilität und Validität hängt von der Minimierung des systematischen Folgefehlers bei einer einzigen Darbietung von Reizen unterschiedlichen Pegels und Frequenz ab.

HELLBRÜCK (1995) führte Versuche mit fester Abfolge mit dem Würzburger Hörfeld durch, wobei jeweils zwei Frequenzen gemischt dargeboten wurden. Er findet bei dieser Versuchsdurchführung nicht-monotone Urteile bei einer Reizausprägung von 60 dB und schließt auf einen Abfolgefehler. Eine Ursache für diesen Urteilsfehler kann er leider nicht angeben. Eine Betrachtung seiner Reizdarbietungen lassen es eher zweifelhaft erscheinen, daß die Abfolge als Ursache für die Unstetigkeit im Kurvenverlauf anzusehen ist, denn er erhält diese Abweichungen bei 60 dB in einem Fall bei einer Folge von Reizpegeln von 70, 60, 90 dB im zweiten Fall bei der völlig anderen Folge von 80, 60, 50 dB.

Zur Frage der optimalen Darbietungsabfolge liegt eine Anregung aus der Arbeitsgruppe Kollmeier vor (in Vorbereitung). Er schlägt vor in einer Art aufsteigendem Verfahren, wobei jeweils nur eine oder zwei Pegelstufen übersprungen werden, um hohe Pegeldifferenzen zu vermeiden, eine Frequenz nach der anderen abzuarbeiten. Dieser Vorschlag hat den Vorteil, daß man sich im Falle des Schwerhörigen aus dem unhörbaren Bereich und weiter bis zur Unangenehmheitsgrenze „herantasten“ könnte. Allerdings ist seine Abfolge nicht validiert und man erfährt nicht, ob die so erstellte Funktion mit der Normfunktion übereinstimmt. Im Prinzip liegt dieser Abfolge die ungeprüfte Meinung zugrunde, daß hohe Reizdifferenzen möglichst zu vermeiden sind, da eine Art Kontrasteffekt die Folge sein könnte.

Unsere eigene Erfahrung geht jedoch dahin, daß hohe Differenzen gerade zum geforderten Absoluturteil zwingen, da ein Bezug zum vorhergehenden Reiz nur schwer möglich ist. Folgendes Beispiel macht die Fehlerquellen, die aus einem Bezugsurteil resultieren können deutlich: folgt nach einem Reiz mit einem Pegel von 65 dB und 1000 Hz, der vom Pb zum Beispiel mit der Kategorie „leise“ beurteilt wird, ein Reiz von 70 dB gleicher Frequenz, wird das Komparativurteil „etwas lauter“ nahegelegt, das dann (z.B. in einer 10stufigen Skala) mit der folgenden Kategorie „leise-mittel“ benannt wird. Das heißt aber, daß anstatt eines geforderten metrischen Absoluturteils ein ordinales Rangurteil gefällt wird. Bedenkt man ferner, daß das erste Urteil „leise“ mit einem zufälligen Fehler behaftet ist, pflanzt sich dieser Fehler zwangsläufig im nächsten Urteil fort.

Unsere Art der Darbietung vermeidet grundsätzlich diese Gefahr des Komparativurteils und der Fehlerfortpflanzung. Es wird also z.B. nach einem Reiz von 65 dB/1000 Hz z.B. der Reiz 40 dB/6000 Hz gefragt. Bei hoher Differenz von Pegel und Frequenz ist die Gefahr eines komparativen Bezugs zum Vorreiz minimal und wir erhalten die sichersten Absoluturteile. Allerdings ist bei diesem Verfahren ein Vorschlag einer festen Abfolge schwer zu realisieren, da ja bei einer Schwerhörigkeit jeweils eine noch unbekannte Pegeldynamik pro Frequenz vorliegt.

Im Hinblick darauf scheint es uns der beste Weg, wenn wir im Vergleich von sogenannten Einurteils- mit Serienexperimenten experimentell zeigen, ob hohe oder niedrige Differenzen in der Abfolge zu Fehlerurteilen führen.

II - 6.1 Einurteilversuch (EU)

Ein Kurzhörfeld, bestehend aus sechs Frequenzen mit je drei bzw. vier Pegeln, wie wir es zur Überprüfung von Hörgeräteanpassungen vorgesehen haben, wurde in einem ruhigen Raum des Instituts bei normalhörigen Pbn durchgeführt. Zur Verdeckung des Grundrauschens im Raum wurde das zur Beurteilung gebotene Schmalbandrauschen mit einem weißen Rauschen von 50 dB unterlegt. Der Pb wurde instruiert, daß er ein einziges Geräusch zu beurteilen hat, dies sollte er mit einer der Alltagskategorien sehr laut bis sehr leise bezeichnen. (Eine KU-Skala wurde ihm vorgelegt). Nachdem er seine Kategorie abgegeben hatte, erhielt er das Geräusch ein zweites Mal vorgespielt mit der Bitte um Feindifferenzierung anhand der 10er-Unterteilung der Kategorie. Darauf wurde er gebeten, zur Beurteilung eines anderen Geräusches am nächsten Tag oder einem der folgenden Tage wiederzukommen. Dies wurde solange fortgesetzt, bis das gesamte Hörfeld abgearbeitet war. Dies zog sich etwa zwei bis drei Monate hin. Die Abfolge der Reize war die gleiche wie im darauffolgenden Serienversuch. Sie war nach Zufall bestimmt und für alle Pbn gleich. Nach übereinstimmender Aussage der Pbn konnten sie sich an den vor einem oder mehreren Tagen gebotenen Reiz nicht mehr erinnern. Es nahmen 4 Pbn teil, die nie einen Lautheitsversuch durchgeführt hatten. Ferner 4 Mitarbeiter des Instituts, also erfahrene Pbn. Ziel des Versuchs war zu prüfen, ob die Übung im Skalieren deutliche Unterschiede produziert.

II - 6.2 Serienversuch

Mit denselben 8 Pbn wurde nach Abschluß des Einurteilversuches das Hörfeld in Serie geboten. Versuchsziel war die Wirkung der Abfolge der Reize gegen das Einurteilsexperiment zu prüfen. Mit dieser Versuchsanordnung war es möglich, die Wirkung der Serienabfolge im Vergleich zum Einurteilsexperiment zu untersuchen.

II - 6.3 Ergebnisse

II - 6.3.1 Vergleich von ungeübten mit geübten Pbn

In der nachfolgenden Abbildung 1 sind die Abfolge der Reize (Abszisse) und die jeweils getroffenen Lautheitsurteile (Ordinate) abgetragen. Es werden die Mittelwerte der vier geübten und die ungeübten Pbn verglichen.

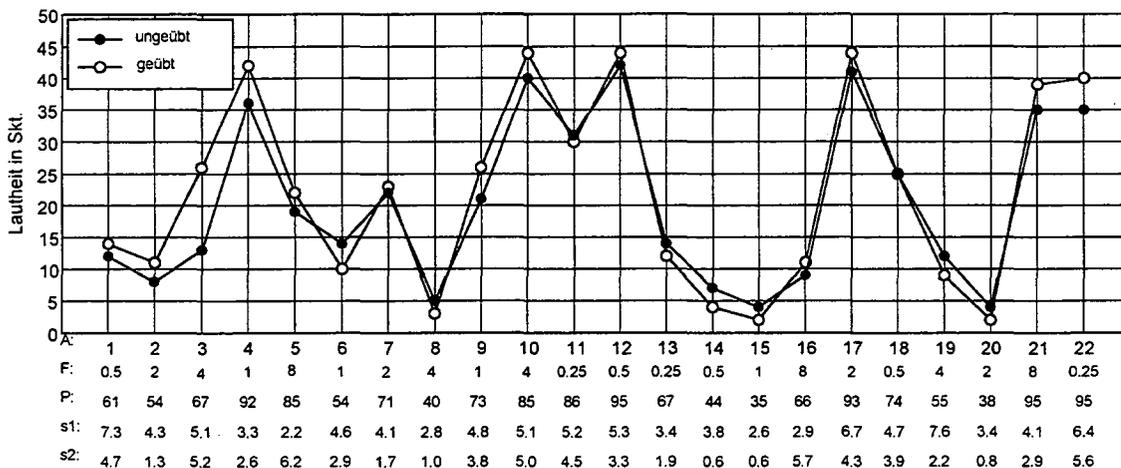


Abbildung 1: Vergleich ungeübter mit geübten Pbn. A: Abfolgenummer, F: Testfrequenz, P: Signalschallpegel, s1: Streuung der ungeübten Pbn, s2: Streuung der geübten Pbn, N=4

Wie man sieht, liegen die Abweichungen beider Gruppen im Rahmen der Streuung. Es werden deshalb für die Untersuchung der Wirkung der Abfolge in der Serie beide Gruppen zusammengefaßt (auf die deutlichen Abweichungen der ersten vier Urteile wird weiter unten eingegangen).

II - 6.3.2 Wirkung der Darbietung in Serie

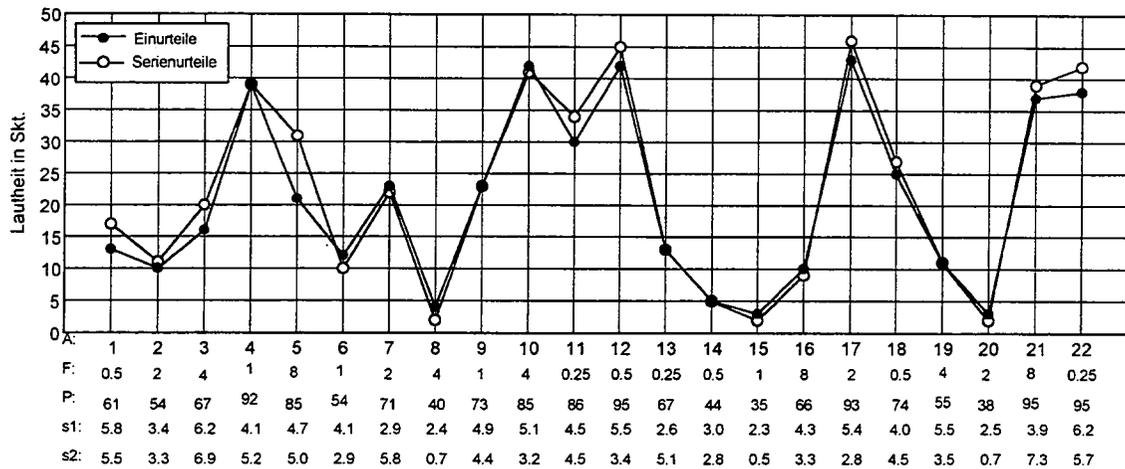
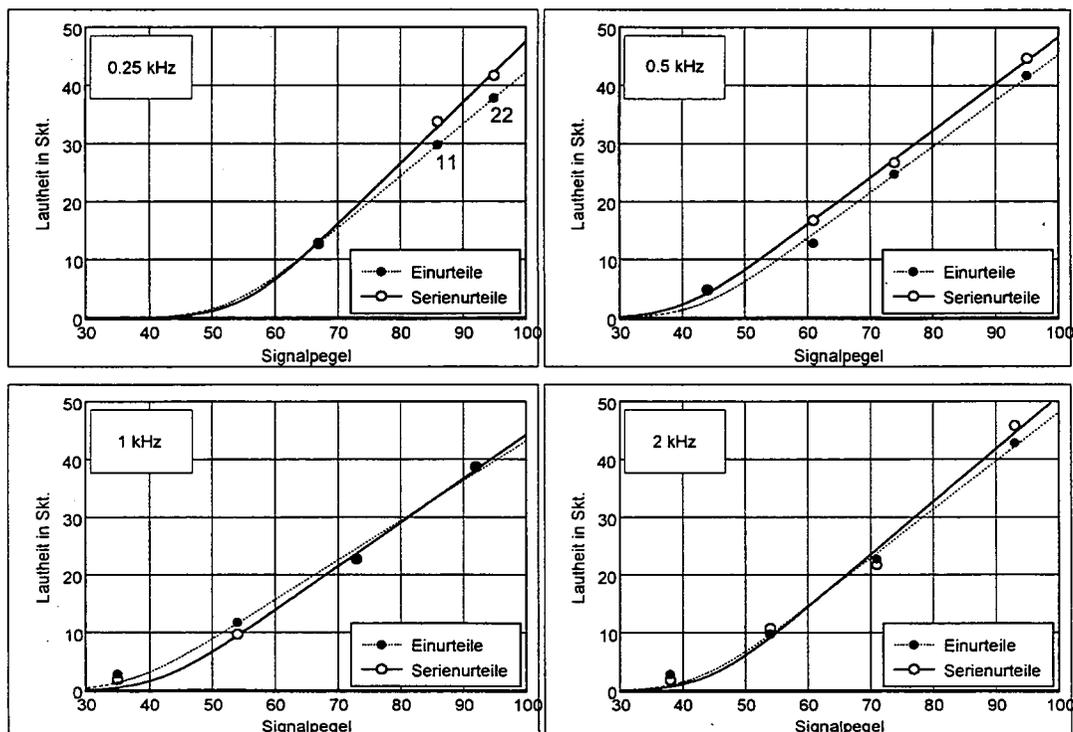


Abbildung 2: Vergleich Einurteilsversuch mit dem Serienversuch. A: Abfolgenummer, F: Frequenz, P: Signalpegel, s1: Streuung des Einurteilsversuchs, s2: Streuung des Serienversuchs. N=8

Aus der Grafik wird sichtbar, daß die Serieldarbietung eine etwas bessere Ausnutzung der Skala zur Folge hat, die hohen Pegel bei Reiz 12, 17 und 21 werden etwas lauter, die niedrigen Pegel 8, 15 und 20 werden leiser als im Einurteilsversuch beurteilt.

Die deutlichen Abweichungen bei Reiz 5, 11 und 22 sind durch bessere Skalennutzung nicht erklärbar. Es ist zu vermuten, daß hier ein Fehler, verursacht durch die Abfolge vorliegt: der Reiz 5 folgt mit einem Pegel von 85 dB unmittelbar auf einen Pegel von 92 dB, Reiz 11 folgt mit 86 dB auf einen Pegel von 85 dB, bei Reiz 22 folgt 95 dB auf 95 dB. Damit läßt sich vermuten, daß geringe Pegelsprünge und damit geringe Lautheitsdifferenzen, trotz hoher Frequenzdifferenzen, zu einer Überschätzung der Lautheit führt.

In der nachfolgenden Abbildung 3 sind die Lautheitsfunktionen des Hörfeldes im Einurteilsversuch und Serienversuch zu jeder Frequenz dargestellt.



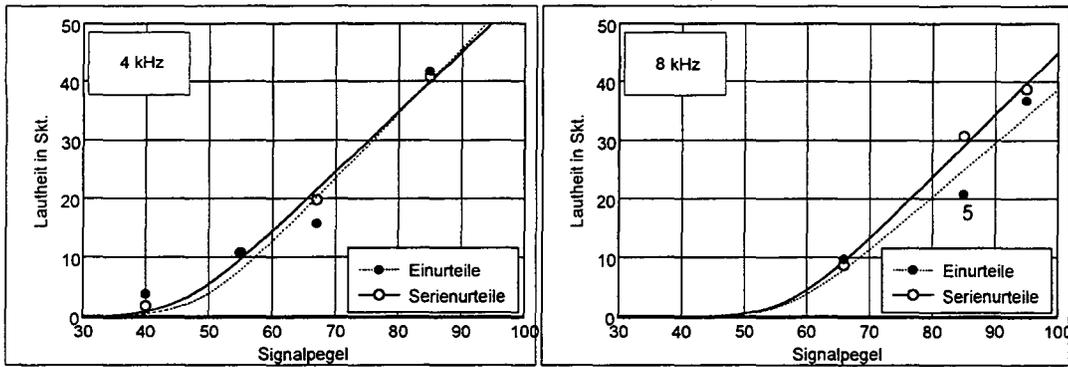


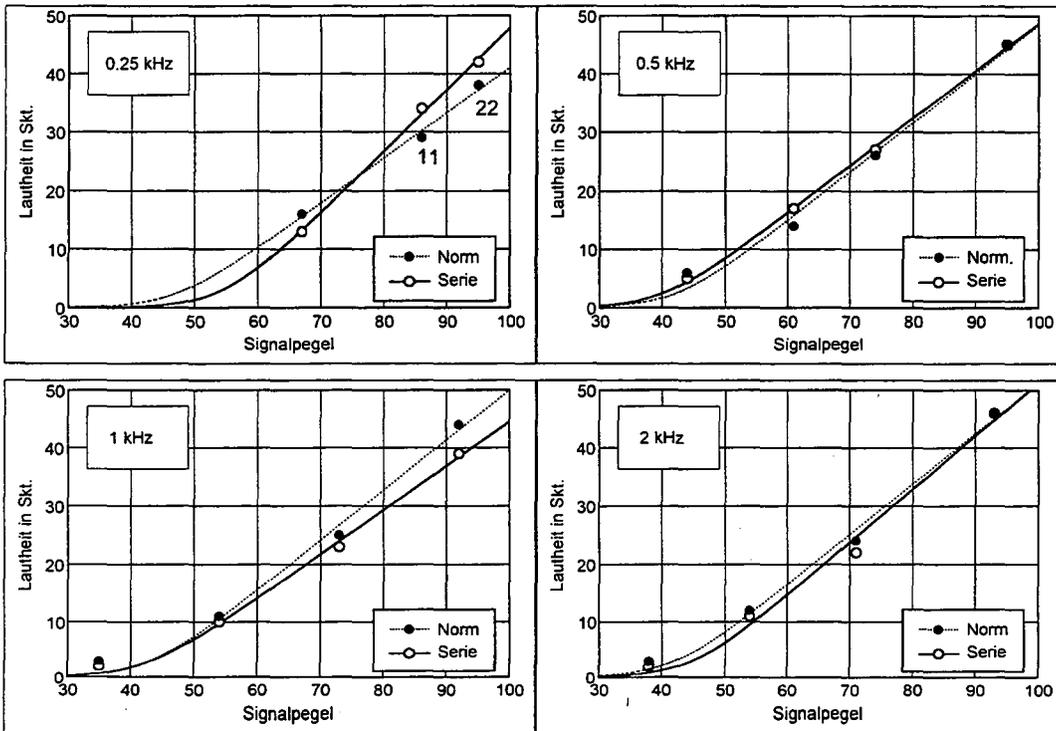
Abbildung 3: Lautheitsfunktionen des Hörfeldes im Einurteilsversuch und Serienversuch für 0.25 bis 8 kHz.

Wie man sieht, stimmen die Lautheitsfunktionen mit dem Serienversuch der 8 Pbn überein. Die Abweichungen der Reize 5, 11 und 22 sind deutlich sichtbar.

II - 6.4 Versuche mit korrigierter Abfolge als Lautheitsnormen

In den folgenden Experimenten wurde die Abfolge der Reize so korrigiert, daß geringe Pegeldifferenzen vermieden wurden und eine Serie mit möglichst großen Frequenz- und Lautheitsdifferenzen entstand. Es nahmen 14 Pbn teil. Diese relativ geringe Pbn-Zahl schien uns ausreichend, da ein Vergleich der mittleren Urteile von je sieben Pbn pro Frequenz und Pegel eine mittlere Differenz aller 22 Werte von 0.64 Skalenteilen ergab. Die mittlere Streuung der 14 Pbn ergab einen Wert von 3.56 Skalenteilen ($SS = 1.29$). Damit liegt die Streuung dieses Kollektivs in der Größenordnung der von uns ermittelten Normfunktionen bei rund 100 Pbn von etwa 4.5 dB. Diese mit korrigierter Abfolge durchgeführten Versuche können somit als Lautheitsnormen bei einem weißen Grundrauschen von 50 dB bezeichnet werden.

Bislang wurde so argumentiert, daß die deutlichen Abweichungen der Lautheitsurteile auf die serielle Darbietung zurückzuführen ist. Die Folgerung ist plausibel, da ja die Reizabfolge als neuer Faktor in den Urteilsprozeß eingeführt wurde. Es ist jedoch theoretisch denkbar, daß die Urteilsdifferenz durch einen Fehler beim Einurteilsversuch begründet ist. Die nachfolgende Abbildung 4 klärt dieses Problem.



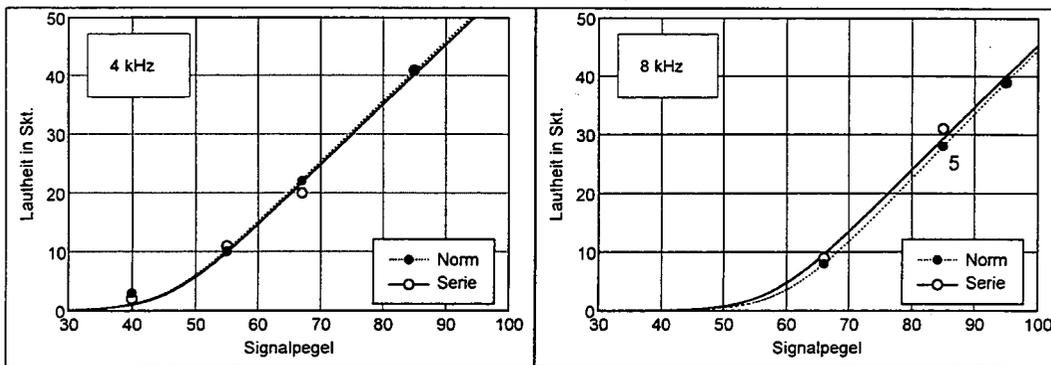


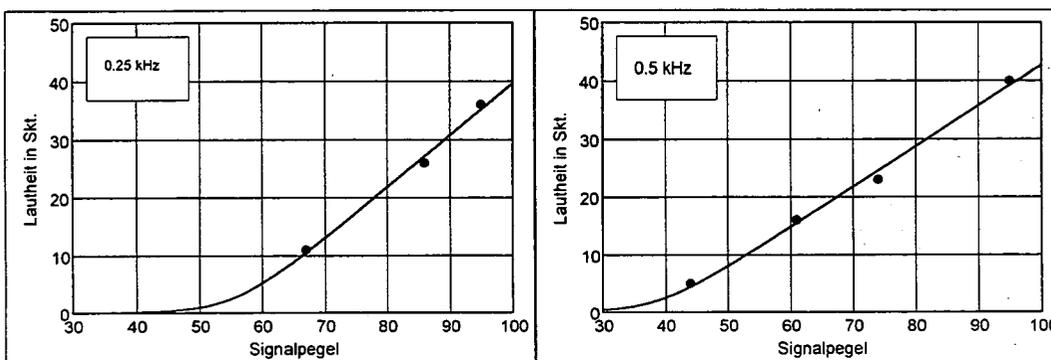
Abbildung 4: Vergleich von Normfunktion und Serienversuch bei 0.25 bis 8 kHz.

An die Versuche mit korrierter Abfolge wurde das modifizierte Fechner-Gesetz angepaßt. Es zeigt sich, daß die oben genannten Serienversuche bei den Reizen 5, 11 und 22 deutlich von dieser Normfunktion abweichen. (Der „Ausreißer“ bei 1000 Hz, 92 dB wird im nachfolgenden Kapitel besprochen). Die Abfolge im obigen „Serienversuch“ muß also als Ursache für die Abweichungen von der Normfunktion angesehen werden.

II - 6.5 Ein-Person-Urteil-Versuch (EPU)

Der EU-Versuch war als Nullversuch zur isolierten Betrachtung der Wirkung durch die Reizabfolge konzipiert. Der Vergleich mit dem Serienversuch hat jedoch auf ein Phänomen verwiesen das, unabhängig von der gebotenen Abfolge, als „Serieneffekt der Skalenausnutzung“ bezeichnet werden kann. Die Abbildung 1 macht deutlich, daß die ungeübten Pbn insgesamt die Skala etwas weniger ausnutzen als die geübten Pbn. Dies ist einleuchtend da die Mitarbeiter des Instituts zwar die vorliegende Serie bei gleichzeitigem Grundrauschen noch nie beurteilt hatten, aber mit der Art der Geräusche und deren Einordnung auf der Skala vertraut waren, während die ungeübten Pbn lediglich auf ihre Alltagserfahrung zurückgreifen konnten.

Um diese alleinige Wirkung der Alltagserfahrung gleichsam auf die Spitze zu treiben, führten wir den Ein-Person-Urteil-Versuch durch. Jeder Pb bekam vom gesamten Hörfeld nur ein Geräusch vorgespielt und hatte dieses nach der eingangs beschriebenen Instruktion zu beurteilen. Die Lautheitsfunktionen des Hörfeldes bestehen also aus den „Hörfeldern“ (dokumentiert durch ein einziges Urteil) von 22 Pbn. Dieser Versuch wurde insgesamt fünf mal wiederholt, so daß zu jedem Geräuschpegel Urteile von fünf Pbn vorliegen, die zur Berechnung der Lautheitsfunktionen arithmetisch gemittelt wurden. An dieses „mittlere Hörfeld“ von 110 Pbn wurde das modifizierte Fechner-Gesetz angepaßt.



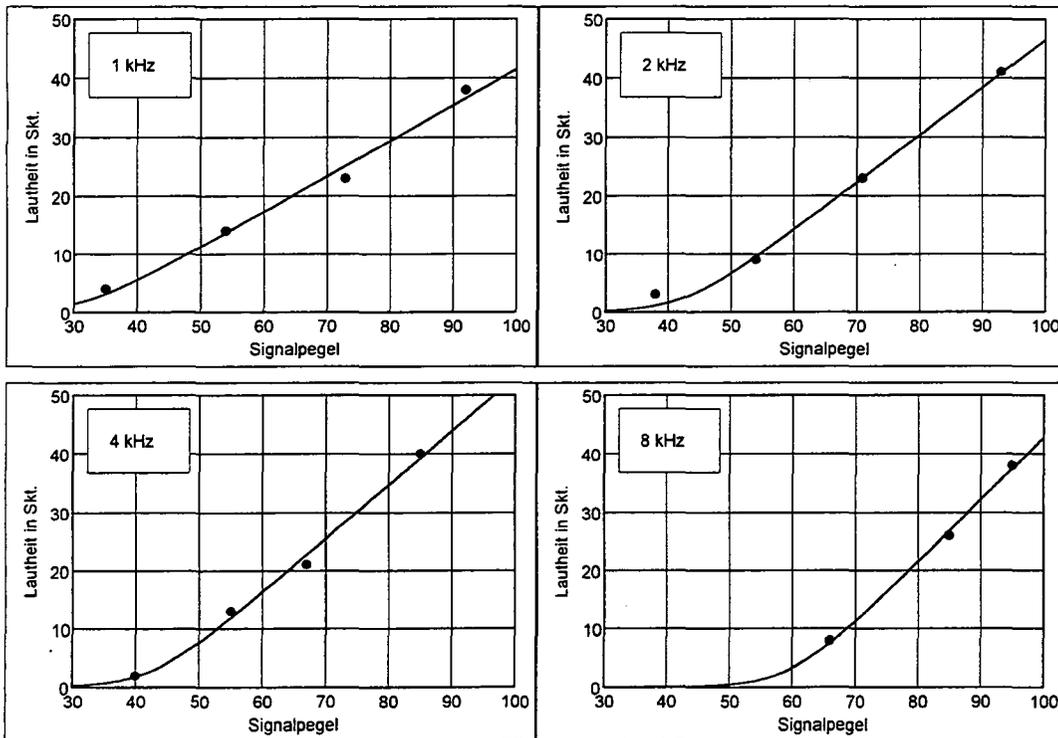


Abbildung 5: „mittleres Hörfeld“ von 110 Pbn im Ein-Person-Urteil-Versuch für 0.25 bis 8 kHz.

Das Ergebnis ist mehr als überraschend, die Daten lassen sich nahezu perfekt durch das modifizierte Fechner-Gesetz beschreiben. Die mittlere Streuung der Rohdaten beträgt 3.26 Skalenteile ($SS = 1.46$), ist also sogar niedriger als die der obigen Normversuche. D.h. aber, unsere Pbn bringen ein höchst stabiles Bezugssystem über Lautheit ein.

II - 6.6 Orientierung des Pb: EPU im Vergleich zur Norm

In einem gewichtigen Punkt unterscheiden sich die hier vorgetragenen Versuche von der üblichen Praxis in der Hörfeldaudiometrie: die Pbn wurden nicht über den Serienumfang orientiert. Da wir zum Ziel hatten, die Wirkung serieller Darbietung zu untersuchen, schien es uns nicht richtig, dem Pbn vorher eine Serie lauter, leiser, hoher und tiefer Töne vorzuspielen. Dieses Vertrautwerden mit der Serie ist ja eigentliches Ziel der Orientierung. Wie schon gesagt, muß unterschieden werden zwischen dem eigentlichen Fehler durch die Reizabfolge und dem Phänomen der Skalenausnutzung mit zunehmender Vertrautheit mit den Geräuschen. Diese mangelnde Vertrautheit wird in Abbildung 1 besonders augenfällig bei der Beurteilung der vier Reize durch die Ungeübten, sie wurden deutlich leiser beurteilt als von den Geübten. Erst danach werden die beiden Kurvenverläufe nahezu gleich. D.h. der Pb braucht einige Darbietungen um sich in diese Geräuschart und deren Beschreibung einzuhören und einzufinden. Hieraus erklärt sich auch der erwähnte Ausreißer bei 1000 Hz, 92 dB, sowie der erheblich geringere Differenzbetrag (gegenüber dem Vergleich EU - Serie) bei Reiz 22 (8000 Hz, 85 dB). Hier hatten sich Serieneffekt und Abfolgeeffekt addiert.

Dieser Effekt mangelnder Vertrautheit mit den Geräuschen müßte im EPU-Experiment verglichen mit der Norm besonders deutlich werden. Abbildung 6 zeigt, daß dies tatsächlich der Fall ist.

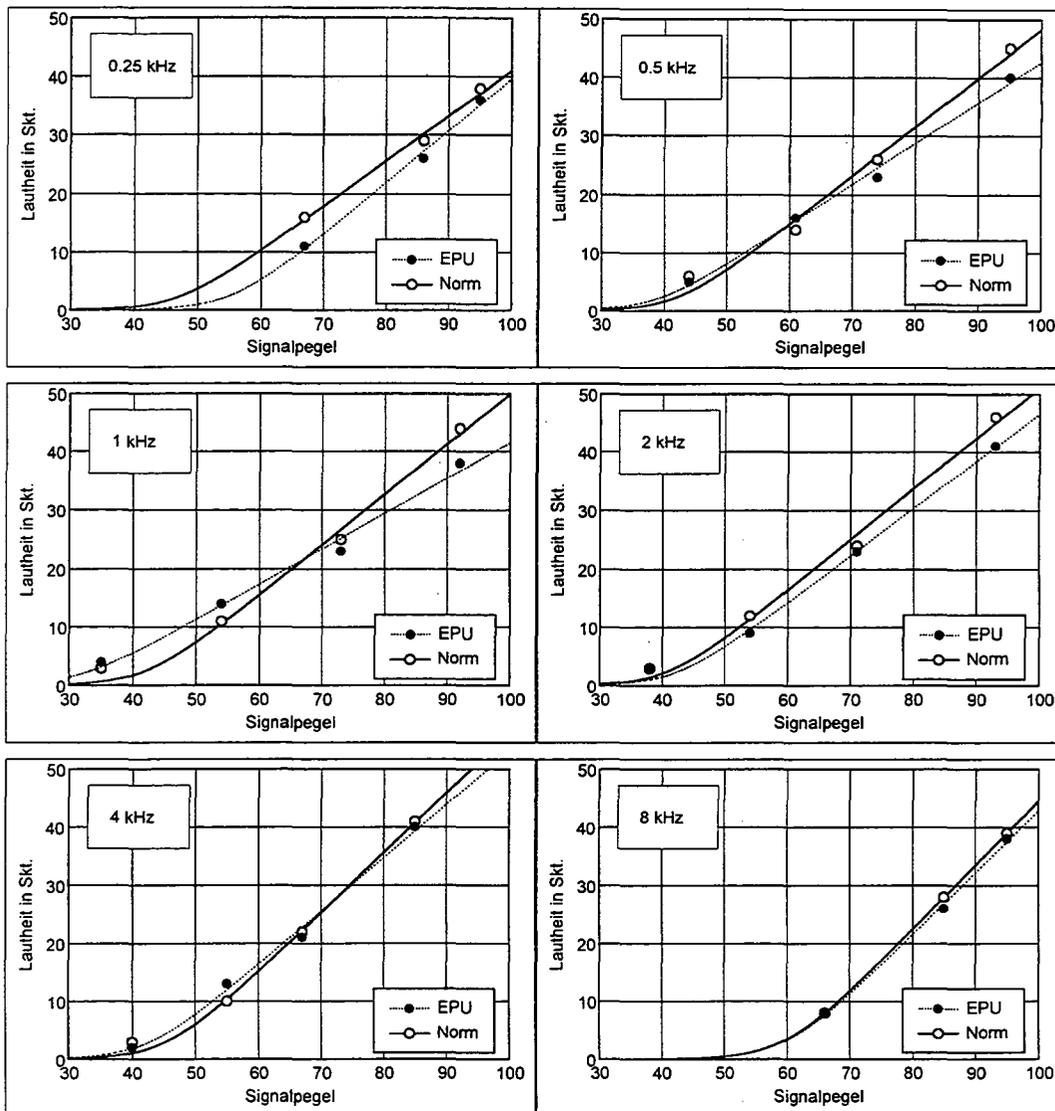


Abbildung 6: Vergleich von Ein-Person-Urteilsversuch zur Lautheitsnorm für 0.25 bis 8 kHz.

Der alleinige Rückgriff auf die Alltagserfahrung führt zu einem erheblich höheren Skalenausnutzungseffekt als der Vergleich von EU- und Serienversuch. Dies macht erneut deutlich, wie notwendig es ist, den Pb zu Beginn des Versuches über die Serie zu orientieren, um eine Vertrautheit mit der Versuchssituation zu erreichen.

Man kann sich darüber streiten, welches Kollektiv die valideren Lautheitsfunktionen Normalhörender beschreibt. Zur Untersuchung des mnemisch stabilisierten Bezugssystems der Lautheit ist der EPU-Versuch zweifelsohne das geeignete Instrument, da er der Beschreibung von Klängen und Geräuschen im Alltag am nächsten kommt. Für die Hörfeldaudiometrie in der Praxis ist dies jedoch ohne Belang, denn es werden immer Serien geboten und Serien müssen beurteilt werden. Allerdings sind gerade die Ein-Urteils-Versuche und die Ein-Person-Urteils-Versuche deutliche Belege für die Notwendigkeit einer Orientierung über Art und Umfang der Serie vor dem eigentlichen Skalierungsprozeß, denn die Definition des Hörverlustes als Abweichung von der Norm, die ja im orientierten Serienversuch gewonnen wurde, setzt voraus, daß dieser Hörverlust unter exakt den gleichen Bedingungen gemessen wird.

Literatur:

Hellbrück, J. (1995): Hörfeldaudiometrie mit Gruppen normalhörender Personen in natürlichen Schallfeldern. *Audiologische Akustik*, 34, 60-80.

II - 7 Ein Modell der Lautheitswahrnehmung

Theo Nowak, Psychologisches Institut, Universität Würzburg

Zusammenfassung

Es wird eine Gleichung vorgestellt, die geeignet ist, die mit dem von Heller (1985) beschriebenen Verfahren der Kategorienunterteilung gewonnenen experimentellen Daten im gesamten Dynamikbereich des Ohres zu beschreiben. Darüberhinaus gestattet sie, den Einfluß des Untergrundrauschens sowohl auf die Signallautheit als auch auf den ebenmerklichen Unterschied vorherzusagen, wie an Beispielen gezeigt wird.

Summary

An equation for the loudness which depends on the sound level of both signal and noise is proposed. In the whole range of loudness this equation fits very well to the experimental data obtained with the Category Partitioning Method described by Heller (1985). The comparison with these data shows that the influence of noise on signal-loudness and sensitivity (just noticeable difference) can be predicted.

II - 7.1 Einleitung

Das von Heller (1985) beschriebene Verfahren der Kategorienunterteilung (KU) wurde in mehreren Untersuchungen an über 300 Versuchspersonen auf seine Brauchbarkeit zur Bestimmung der Lautheit von Sinustönen und Schmalbandrauschen geprüft. Die Ergebnisse waren bei sorgfältiger Einhaltung der von Heller angegebenen Versuchsbedingungen so vielversprechend hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit, daß versucht wurde, zu einer mathematischen Beschreibung der Lautheitswahrnehmung zu gelangen, die über das Fechnersche Gesetz oder die Stevenssche Potenzfunktion hinausreicht (vgl. Nowak, 1979 und Hellbrück, Heller & Nowak, 1981).

Leitidee war dabei das Fechnersche Konzept, wie es in seiner letzten Arbeit „Über die psychischen Maßprinzipien und das Webersche Gesetz“ (1888) - nach Wundt (1888) „die klarste und vollendetste Darstellung des Problems“ - beschrieben wird. Die Anregung zu dieser Art des Vorgehens gab ein Versuch von Heller (1980, S. 127), in dem er die „vergessene Methode“ des Aneinanderreihens von ebenmerklichen Unterschieden anwandte.

Was hier als Fechner-Konzept bezeichnet wird, ist in gewisser Hinsicht ein Produkt subjektiver Interpretation. Übernommen wurde die Unterschiedsempfindung als Maßeinheit ebenso wie die Unterscheidung von Empfindung und psychophysischer Erregung. Auch der Einfluß des Rauschens - bei Fechner (S. 203) „mitgehende Erregung“ genannt - auf die Absolutschwelle geht in das vorliegende Modell mit ein. Darüberhinaus wurde dem Weberschen Gesetz nicht die Bedeutung beigelegt, die es in manchen anderen Interpretationen der Ideen Fechners erhalten hat. Fechner (S. 169) selbst bezeichnet dieses Gesetz als nur in gewissen Grenzen „approximativ genug, um sich daran zu halten“. Dagegen scheint die Annahme Fechners, daß die jeweilige Erregung proportional dem auslösenden physikalischen Reiz sei, wenig sinnvoll. Auch wenn man nur für den „mittleren Gültigkeitsbereich“ von etwa 50 bis 90 dB diese Proportionalität postuliert, würde das bedeuten, daß bei den im Alltag sehr häufig auftretenden Signalpegeln von ca. 60 dB weniger als 0.1 % der maximalen Erregung aktiviert wird.

II - 7.2 Die Lautheitsfunktion

Im folgenden sollen die dimensionslosen Zahlen S und R die Signal- bzw. die Rauschintensität beschreiben. Die neurale (psychophysische) Erregung werde mit E bezeichnet. A schließlich sei die Antwort der Versuchspersonen, wobei vorausgesetzt wird, daß darin die Empfindungsgröße in ange-

messener Weise ausgedrückt wird. Nimmt man nun an, daß gleiche Erregungsunterschiede zu gleichen Empfindungsunterschieden führen und außerdem das Webersche Gesetz gilt, so gilt für die Erregung in Abhängigkeit von der Gesamtintensität (S+R) das Fechnersche Gesetz. Unter gleichen Voraussetzungen führt die Annahme, daß gleiche relative Erregungsunterschiede (gleiche Erregungsverhältnisse) zu gleichen Empfindungsunterschieden führen, zu einer Potenzfunktion für die Erregung in Abhängigkeit von der Intensität.

Formal kann man den Sachverhalt in folgender Differentialgleichung zusammenfassen:

$$dE = k \cdot (S + R)^p \cdot d(S + R) \quad (1)$$

Für $p=-1$ ergibt die Integration das Fechner'sche Gesetz, in allen anderen Fällen erhält man eine Potenzfunktion. Dieser Ansatz führt also nicht über längst bekannte und diskutierte Standpunkte hinaus. Berücksichtigt man jedoch, daß die Erregung mit Sicherheit einen endlichen Maximalwert E^* hat, so kann die Gleichung (1) gar keine adäquate Beschreibung der Erregung liefern. Um diese Unstimmigkeit zu beheben, kann man noch den Korrekturfaktor $(E^* - E)$ einfügen und erhält damit:

$$dE = (E^* - E) \cdot k \cdot (S + R)^p \cdot d(S + R) \quad (2)$$

Nach dieser Gleichung nimmt die Erregung bei Steigerung der Reizintensität immer weniger zu, je mehr sie sich der Maximalerregung E^* nähert. Das bedeutet gleichzeitig, da man nicht mehr an der strengen Gültigkeit des Weberschen Gesetzes festhalten kann. Die Integration der Gleichung (2) führt nun zu folgender Gleichung für die Gesamterregung:

$$E = E^* \cdot \left[1 - e^{-c \cdot (S+R)^n} \right] \quad (3)$$

mit $c=k/n$ und $n=p+1$. Setzt man die Signalintensität gleich Null, so erhält man die Rauscherregung E_R allein. Subtrahiert man diese Rauscherregung von der Gesamterregung, so kommt man zu der Signalerregung E_S . Um nun zur Lautheit zu kommen, bedarf es noch einer zusätzlichen Annahme über den Zusammenhang zwischen der Erregung und der Empfindung A. Dieser wird durch folgende Gleichung gegeben:

$$\frac{E_S}{(E^* - E_R)} = \frac{A}{A^*} \quad (4)$$

Hier bezeichnet A^* den höchsten Skalenwert, den die Versuchsperson an der Schmerzgrenze angeben würde, da sie ja auf der KU- Skala über 50 Skalenteile hinausgehen darf (vgl. Heller, 1985). Der von der Versuchsperson angegebene Wert A soll sich also zur gesamten Skalenlänge verhalten wie die Signalerregung zum gesamten noch freien, nicht von der Rauscherregung eingenommenen Erregungsbereich. Aus der Gleichung (4) folgt, daß gleiche Erregungsunterschiede zu gleichen Lautheitsunterschieden führen. Das gilt auch für ebenmerkliche Erregungsunterschiede. Die Lautheitsskala stimmt damit bis auf einen unbekanntem Skalenfaktor mit der Skala überein, die man durch Abzählen der ebenmerklichen Unterschiede erhält. Die Gleichung (4) wurde deshalb als eine der möglichen Formulierungen des Fechner'schen Maßprinzips in das Modell mit einbezogen. Daß genau diese Formulierung gewählt wurde, wird durch das Bezugssystem-Modell nahegelegt. Nicht der absolute Wert der Erregung ist maßgebend, sondern die Erregung bezogen auf den gesamten freien Erregungsbereich. Ebenso geht A nur bezogen auf die gesamte Skalenlänge in die Gleichung (4) ein. Aus den Gleichungen (3) und (4) folgt nun die Lautheitsfunktion:

$$A = A^* \cdot \left\{ 1 - e^{-c \cdot [R^n - (S+R)^n]} \right\} \quad (5)$$

Es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, daß dies keine mathematische Ableitung oder gar einen Beweis der Gleichung (5) darstellen soll, sondern eine mathematische Beschreibung und Zusammenfassung plausibler Annahmen, die sich in ständiger Wechselwirkung mit Experimenten zur Lautheitsbestimmung ergaben.

II - 7.3 Vergleich mit den experimentellen Daten

Mittels des KU-Verfahrens wurde die Lautheit von Schmalbandrauschen (Bandbreite 3%) bei Bandmittenfrequenzen im Bereich von 250 Hz bis 6400 Hz bestimmt. Die Geräusche wurden über einen Lautsprecher dargeboten. Ein zweiter Lautsprecher erzeugte weißes Rauschen. So konnte sowohl das Signal als auch das Rauschen in definierter Weise unabhängig voneinander variiert werden. An dem Versuch nahmen 71 Versuchspersonen teil. Jede hatte 16 Signalpegel von ca. 45 bis 100 dB bei zwei verschiedenen Bandmittenfrequenzen und zwei verschiedenen Rauschpegeln jeweils einmal hinsichtlich der Lautheit zu beurteilen.

Durch Anpassung der Lautheitsfunktion an die Antworten der Versuchspersonen nach der „Methode der kleinsten Fehlerquadrate“ konnten dann die Konstanten A^* , c , n und R für jede Versuchsperson gesondert bestimmt werden. Für die Skalenlänge A^* ergab sich ein Mittelwert von ca. 60 Skalenteilen mit einer Streuung von etwa 14%. Das bedeutet, daß bei diesem Skalenwert im Mittel die Schmerzgrenze erreicht würde. Die Konstante c beschreibt die Frequenzabhängigkeit des Gehörs, sie hat für 1 kHz etwa den Wert 0.0093, ihre Streuung innerhalb der Frequenzen beträgt etwa 12%. Eine Meßungenauigkeit von nur 2 dB beim Schallpegel könnte diese Streuung bereits vollständig erklären. Für n schließlich ergab sich über alle Versuchspersonen und -bedingungen hinweg ein Wert von 0.23 mit einer Streuung von 2%. Da nur der Anteil des weißen Rauschens, der die Signallautheit beeinflusst, in die Lautheitsfunktion eingeht, ist R nicht mit dem Rauschpegel identisch, sondern muß auch als Parameter der Funktion bestimmt werden. Eine Variation des Rauschpegels erlaubt jedoch eine Vorhersage der Änderung von R .

Die Abweichungen der einzelnen Antworten sowohl von der individuellen Lautheitsfunktion als auch von den Gruppenmittelwerten waren normalverteilt mit der Streuung von 2 bzw. 3.7 Skalenteilen.

Aus der Fülle der Daten seien hier nur einige prägnante Beispiele vorgestellt. Die Abbildung 42 zeigt die Ergebnisse einer einzelnen Versuchsperson bei der Bandmittenfrequenz des Signals von 1 kHz. Jeder Meßpunkt entspricht einem einzigen Urteil. Die mittlere Abweichung von der angepaßten Kurve beträgt 1.2 Skalenteile. Aus der Gleichung dieser Kurve wurde berechnet, welchen Verlauf die Lautheitsfunktion bei einem um 9 dB höheren Schallpegel haben würde. In Abbildung 43 ist die ausgezogene Kurve das Ergebnis dieser Vorhersage, während die punktierte Kurve die ursprüngliche Funktion der Abbildung 42 darstellt. Die eingezeichneten Meßpunkte stellen die Lautheitsurteile der gleichen Versuchsperson bei einem um 9 dB höheren Rauschpegel dar. Die mittlere Abweichung der Meßpunkte von der vorherberechneten Kurve beträgt wiederum 1.2 Skalenteile.

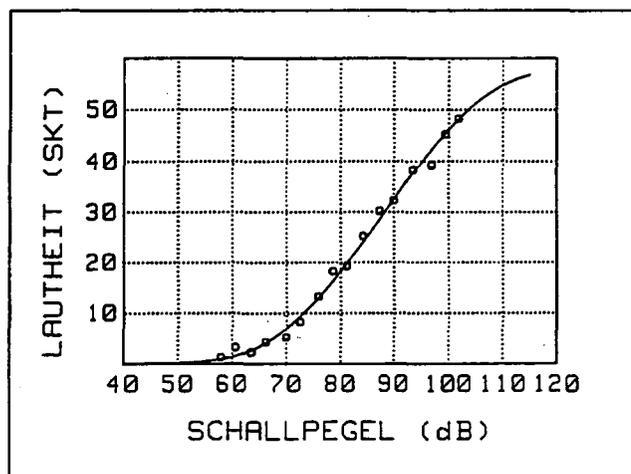


Abbildung 42: Lautheitsfunktion einer Vp bei 1 kHz, angepaßt an die Meßpunkte (jeweils ein Lautheitsurteil).

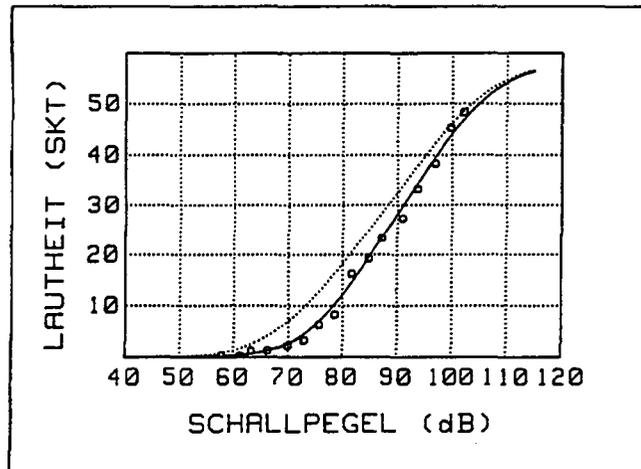


Abbildung 43: Aus der Funktion der Abbildung 42 (punktiert) vorherberechnete Kurve (ausgezogen) für einen 9 dB höheren Schallpegel im Vergleich zu den Meßpunkten.

Wie oben erwähnt, stimmt die hier erhaltene Lautheitsskala bis auf einen unbekanntem Skalenfaktor mit der Anzahl der ebenmerklichen Erregungsunterschiede überein. Durch Differentiation der Lautheitsfunktion erhält man die Lautheitsänderung pro dB. Der reziproke Wert davon ergibt die Pegeländerung pro Skalenteil, also bis auf den Skalenfaktor auch die Pegeländerung, die zu einem ebenmerklichen Lautheitsunterschied führt. In Abbildung 46 zeigen die Meßpunkte die von einer Versuchsperson durch ebenmerkliches Lauter- und Leisereinstellen von Sinustönen ermittelten Werte in Abhängigkeit vom Schallpegel. Die Kurve zeigt die aus der Lautheitsfunktion der gleichen Versuchsperson berechneten Werte, die durch Multiplikation mit dem Skalenfaktor 1.08 an die Meßpunkte angepaßt wurde.

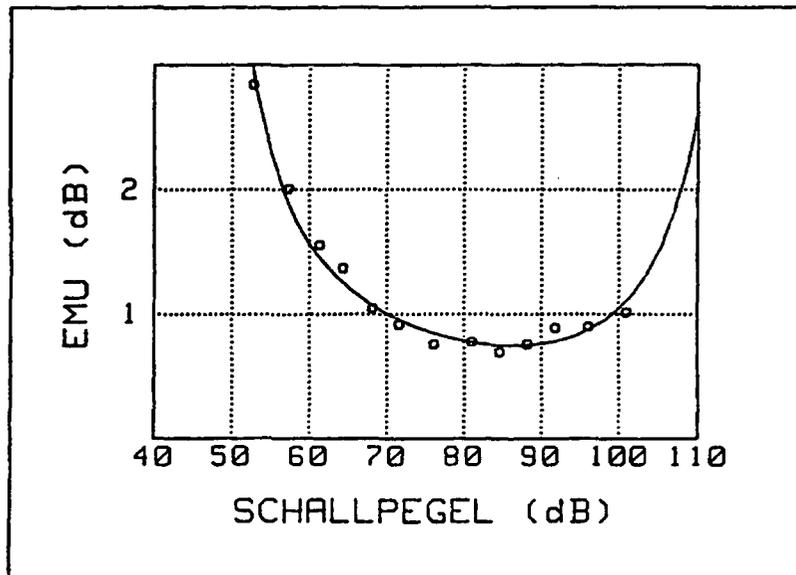


Abbildung 44: Aus der Lautheitsfunktion berechneter und an die Meßpunkte angepaßter Verlauf der ebenmerklichen Unterschiede in Abhängigkeit vom Signalpegel.

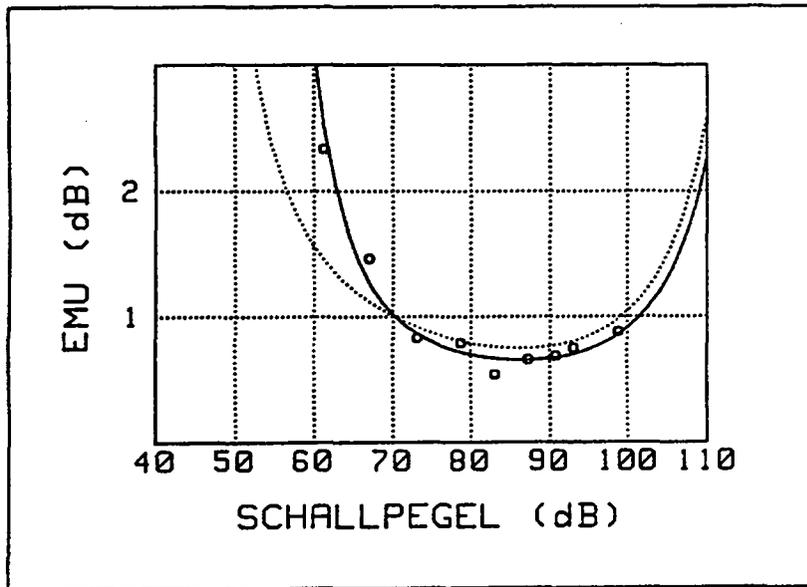


Abbildung 45: Aus der Kurve der Abbildung 44 (punktiert) vorherberechneter Verlauf der ebenmerklichen Unterschiede bei einem 12 dB höherem Rauschpegel (ausgezogen) im Vergleich zu den Meßpunkten.

Da nun der Skalenfaktor bekannt ist, sollte ohne weitere Anpassung vorhergesagt werden können, welche Werte sich bei einem um 12 dB höheren Rauschpegel ergeben. Die Abbildung 45 zeigt das Resultat. Die punktierte Kurve ist die der Abbildung 44, aus der die ausgezogene Kurve berechnet wurde, während die Meßpunkte sich wiederum durch direkte Bestimmung der ebenmerklichen Unterschiede ergaben. Wie aus Abbildung 45 sofort ersichtlich, ist im Widerspruch zum Weberschen Gesetz die ebenmerkliche Pegeländerung nicht unabhängig vom Signalpegel. Wählt man jedoch als Abszisse nicht den Schallpegel sondern die Lautheit, so erhält man aus der Abbildung 45 die Abbildung 46. Bezogen auf die Lautheit gibt es einen „mittleren Gültigkeitsbereich“, in dem das Weber'sche Gesetz - um mit Fechner zu sprechen - „approximativ genug“ gilt.

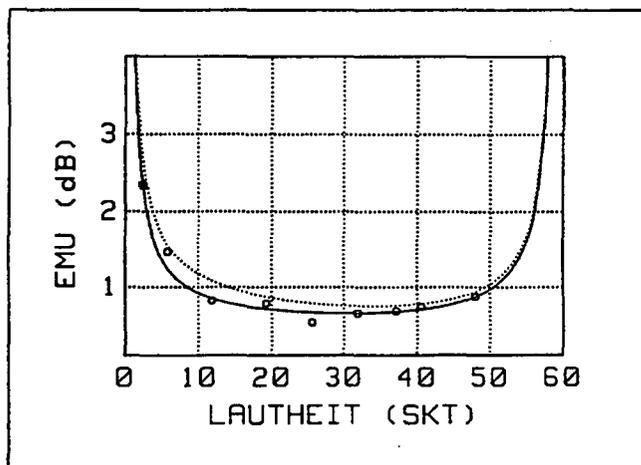


Abbildung 46: Entspricht der Abbildung 45, nur wurde als Abszisse statt des Schallpegels die Lautheit gewählt.

II - 7.4 **Schlußbemerkung**

Die wenigen Ergebnisse, die sich auf viele hier nicht aufgeführte Daten stützen, sollten zeigen, daß mit dem skizzierten Modell der Lautheitswahrnehmung vielleicht ein Ansatzpunkt gegeben ist zu neuen Überlegungen und Experimenten, die von einer rein deskriptiven Behandlung und Kurvenanpassung zu vorhersagefähigen Modellen und damit schließlich zu einer Theorie führen könnten. Interessant wäre es auch, den vermutlichen Zusammenhang zwischen der Gleichung (4) und dem Modell des Bezugssystems näher zu untersuchen.

Literatur

FECHNER, G.TH.: Über die psychischen Maßprinzipien und das Weber'sche Gesetz. In: *W. Wundt (Hrsg.), Philosophische Studien. Band 4, Leipzig, 1888.*

HELLBRÜCK, J., HELLER, O., NOWAK, TH.: Wie genau kann die Lautheitsempfindung bestimmt werden?. In: *Fortschritte der Akustik, DAGA '81, VDE-Verlag, Berlin, 1981.*

HELLER, O.: Orientierung innerhalb von phänomenalen Steigerungsreihen. In: *W. Lauterbach, V. Sarris (Hrsg.) Beiträge zur psychologischen Bezugssystemforschung. Huber, Bern, 1980.*

HELLER, O.: Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienunterteilung (KU). *Psychologische Beiträge, Band 27, Heft 4, 1985.*

NOWAK, TH.: Der Mensch als Schallmeßinstrument. In: *O. Heller (Hrsg.) Forschungsbericht 1979 des Würzburger Psychologischen Instituts, Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie. Würzburg, 1980.*

WUNDT, W.: Zur Erinnerung an Gustav Theodor Fechner. In: *W. Wundt (Hrsg.), Philosophische Studien, Band 4, Leipzig, 1888.*

II - 8 Überhörabstände der Kopfhörer

Die beiden in unseren audiometrischen Untersuchungen verwendeten Kopfhörer Jecklin und AKG K 1000 sind offen. Aus diesem Grund mußte mit geringeren Überhörabständen als bei geschlossenen Kopfhörern gerechnet werden. Im folgenden soll über die Messung der Überhörabstands, der kritisch für die Untersuchung asymmetrischer Hörverluste ist, berichtet werden. Da bei den beiden offenen Kopfhörern nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden konnte, daß der Überhörbetrag allein auf Luftleitung zurückzuführen ist, führten wir die Messungen nicht physikalisch (z.B. Gehörgangseingangspegel), sondern psychoakustisch aus.

II - 8.1 Ipsi- und contralaterale Maskierfunktionen normalhöriger Pbn

Der Überhörabstand wurde mittels ipsilateraler und contralateraler Maskierfunktionen an normalhörigen Pbn bestimmt. Wie sich der Überhörabstand aus den Maskierfunktionen ermitteln läßt, verdeutlicht folgende Überlegung: Zur Bestimmung einer ipsilateralen Maskierungsfunktion werden Signal und Maskiergeräusch auf einem Ohr dargeboten, um die Mithörschwellen für verschieden laute Maskierpegel zu bestimmen. Bei der Bestimmung der contralateralen Funktion (Signal ipsilateral, Maskiergeräusch contralateral) liegen die Maskierpegel, die zu einer gegebenen Hörschwellenanhebung führen um den Überhörabstand höher als im ipsilateralen Fall. Das heißt, ipsi- und contralaterale Maskierungsfunktion (Abszisse: Maskierpegel, Ordinate: Hörschwelle) müßten bis auf eine abszissenparallele Verschiebung identisch sein. Der waagrechte Abstand der Funktionen entspricht dem Überhörabstand des Kopfhörers. Dies wird in Abbildung 47 graphisch veranschaulicht, wobei die Funktionen idealisiert dargestellt sind.

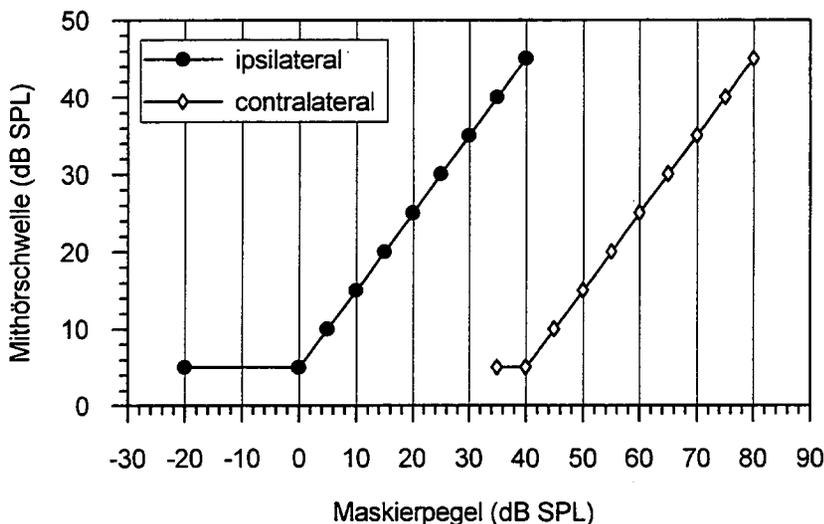


Abbildung 47: Idealisierte ipsi- und contralaterale Maskierfunktion.

II - 8.1.1 Versuchsanordnung und -durchführung

An der Untersuchung nahmen fünf normalhörige Pbn teil. Als Signale dienten stochastisch frequenzmodulierte Sinustöne mit einer Bandbreite von 10%, einer Umschaltrate von 100/s und einer Ein- und Ausblendzeit von 100 ms. Beim Maskiergeräusch handelte es sich um Schmalbandrauschen mit einer Bandbreite von 23% und einer dem Signal entsprechenden Mittenfrequenz. Untersucht wurden die Frequenzen: 0,5, 1, 2, 4, 6 und 8 kHz. Die Dauer des Signals betrug 1,5 Sekunden, die des Maskiergeräusches 3 Sekunden, wobei das Signal zeitlich mittig in das Maskiergeräusch eingebettet war. Bei der ipsilateralen Maskierung lag der Schalldruckpegel des Maskiergeräusches zwischen 0 und 40 dB (SPL), bei der contralateralen Maskierung zwischen etwa 40 und etwa 90 dB, wobei das Maskiergeräusch in jeweils 5 dB-Schritten abgestuft war. Die verschieden lauten Maskiergeräusche wurden in Zufallsreihenfolge geboten.

Die Untersuchung wurde im schallarmen Labor durchgeführt. Die Darbietung der Signale erfolgte monaural über den offenen Kopfhörer (Jecklin Float Model Two). Im übrigen wurde die Apparatur eingesetzt, die auch bei Hörfeld- und Sprachaudiometrie verwendet wurde.

Da die Bestimmung der Maskierfunktionen sehr zeitaufwendig ist, wurden die Probanden an mehreren, meist aufeinanderfolgenden Tagen untersucht. Die Versuchsdauer betrug dabei jeweils etwa ein bis zwei Stunden. Sowohl Ruhehörschwelle als auch die Mithörschwellen wurden mittels Eingabelungsverfahren bestimmt (12dB-Schritte abwärts, 6dB-Schritte aufwärts, 1dB-Schritte abwärts). Mit Ausnahme von Vp 1 wurde bei jedem Probanden für jede Frequenz (500 bis 8000 Hz) sowohl eine ipsi-, als auch eine contralaterale Maskierfunktion bestimmt. Bei Vp 1 fehlen die Maskierfunktionen für 8 kHz.

II - 8.1.2 Bestimmung der Maskierfunktionen

Zu gegebener Testfrequenz wurde zunächst die Ruhehörschwelle gemessen (Maskierpegel: -20 dB). Danach wurden ipsilateral die Mithörschwellen für die Maskierpegel 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 dB SPL bestimmt, wobei die Abfolge der Maskierpegeldarbietungen zufällig gewählt wurde. Um die ipsilaterale Maskierfunktion vollständig bestimmen zu können, waren etwa 10 Hörschwellenmessungen erforderlich. War bei einem höheren Maskierpegel (z. B. 10 dB) keine Abweichung von der Ruhehörschwelle festzustellen, wurde auf die Bestimmung der Mithörschwellen bei niedrigeren Maskierpegeln (z.B. 0 dB, 5 dB) verzichtet. Die contralateralen Funktionen wurden in gleicher Weise bestimmt. Aufgrund der Beschaffenheit des Kopfhörers konnte man davon ausgehen, daß der Überhörabstand mehr als 35 dB SPL beträgt. Der Maskierpegel lag aufgründessen zwischen 35 und 80 bzw. 90 dB SPL, je nach Frequenz. Für die contralaterale Maskierfunktion wurden Mithörschwellen für die Maskierpegel 35, 40, 45, ..., 80, 85, 90 dB SPL bestimmt. Abbildung 48 zeigt als Beispiel die Maskierfunktionen bei 0.5 bis 8 kHz von Vp 4. Zur Interpolation wurde je Vp, Frequenz und Maskierbedingung eine Gerade an den ansteigenden Ast der Maskierfunktion angepaßt.

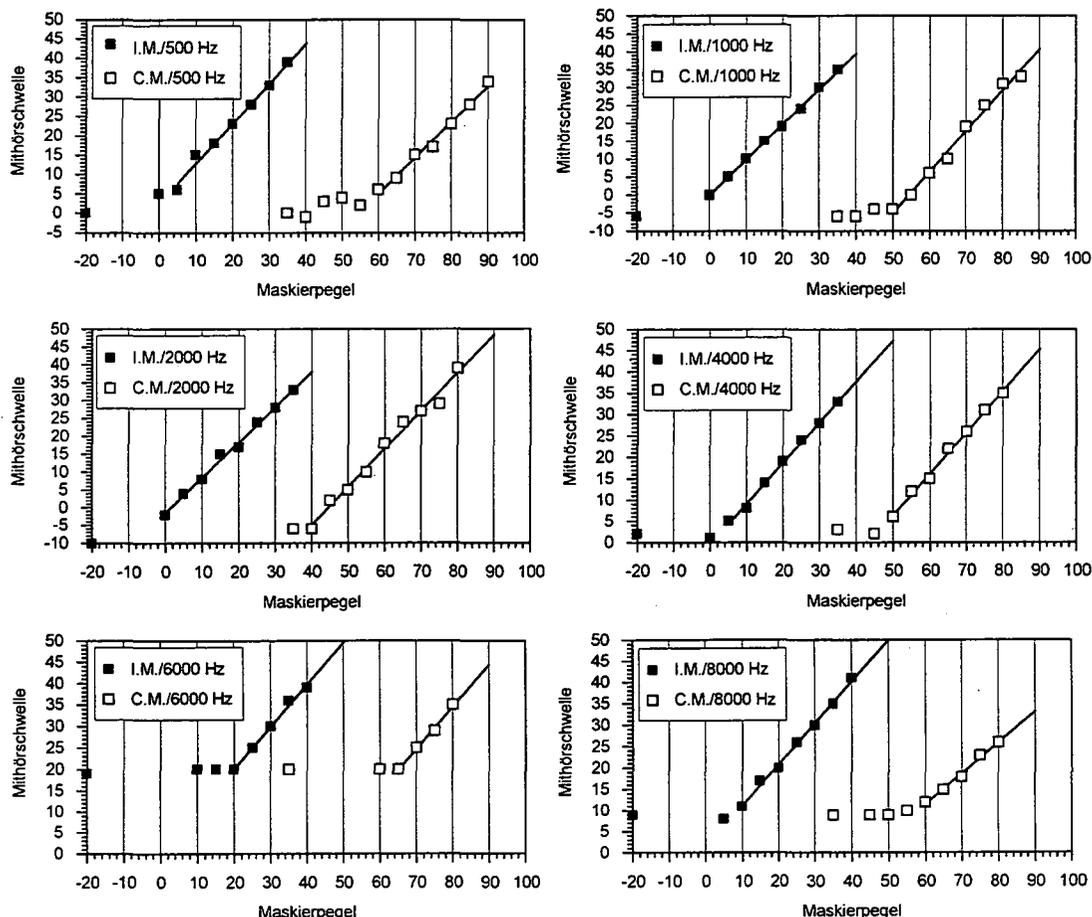


Abbildung 48: Ipsilaterale und contralaterale Maskierfunktionen von Vp4 für 0.5 bis 8 kHz.

Da die Steigungen der ipsilateralen und contralateralen Maskierfunktionen je Frequenz und Vp zum Teil nicht übereinstimmten, wurde der Überhörabstand, d.h. die Maskierpegel-Differenz zwischen ipsilateraler und contralateraler Maskierfunktion, an zwei Stellen des Funktionspaares berechnet. Der abszissenparallele Abstand wurde etwa 5 dB (D1) und 25 dB (D2) oberhalb des Steigungsbeginns der Funktionen bestimmt. Aufgrund der zum Teil zu lauten Maskierpegel war nicht bei allen Vpn eine vollständige contralaterale Maskierfunktionen zu

bestimmen. Aus diesem Grunde mußte teilweise extrapoliert werden; die extrapolierten Daten sind in Tabelle 1 mit einem * gekennzeichnet. Für Vp 3 konnte bei 2 kHz keine contralaterale Funktion angepaßt werden, da die Mithörschwelle trotz Anstiegs des Maskiergeräusches annähernd gleich blieb.

Die auf diese Weise je Frequenz und Vp ermittelten mithörschwellenabhängigen Überhörabstände sind in Tabelle 1 aufgeführt. Darüberhinaus enthält die Tabelle die Differenz (DG) aus D1 (Differenz zwischen ipsilateraler und contralateraler Maskierfunktion, 5 dB über Steigungsbeginn der Funktionen) und D2 (Differenz zwischen ipsilateraler und contralateraler Maskierfunktion 25 dB über Steigungsbeginn der Funktion). In diesem Parameter schlägt sich eine Pegelabhängigkeit des ermittelten Überhörabstands nieder.

Tabelle 6: Überhörabstände des Jecklin Float Model Two. D1: Überhörabstand 5 dB über Steigungsbeginn der angepaßten Funktion. D2: Überhörabstand 25 dB über Steigungsbeginn der angepaßten Funktion. DG: Differenz aus D1 und D2. *: extrapolierte Werte.

	Vp1			Vp2			Vp3		
	D1	D2	DG	D1	D2	DG	D1	D2	DG
0.5 kHz	48.6	48.1*	-0.5*	55.9	60.9	5.0	54.1	69.1*	15.0*
1 kHz	41.0	52.0	11.0	52.9	53.4	0.5	51.8	53.0*	1.2*
2 kHz	37.0	41.5	4.5	40.9	43.4	2.5	--	--	--
4 kHz	41.1	38.1	-3.0	43.8	45.1	1.3	41.7	44.6	2.9
6 kHz	30.7	22.9*	-7.8*	38.5	39.7	1.2	43.8	50.3*	6.5*
8 kHz	--	--	--	49.0	50.3	1.3	54.3	47.1*	-7.2*

	Vp4			Vp5		
	D1	D2	DG	D1	D2	DG
0.5 kHz	58.2	61.0	2.8	50.7	62.7	12.0
1 kHz	52.8	53.3	0.5	56.8	57.2	0.4
2 kHz	43.0	40.9	-2.1	41.8	39.2	-2.6
4 kHz	42.9	42.5	-0.4	43.6	43.1	-0.5
6 kHz	45.3	45.3*	0.0*	45.0	48.0	3.0
8 kHz	51.1	59.9*	8.8*	54.1	58.6	4.5

Wie aus Tabelle 6 ersichtlich, variieren die gemessenen Überhörabstände je Frequenz interindividuell und bei gegebener Frequenz mithörschwellenabhängig (D1 vs. D2). Vp1 weist aufgrund ihres extrem schmalen Kopfes und der demzufolge geringeren contralateralen Schalldämmung durch das Kopfhörergehäuse im Vergleich zu den anderen Vpn geringere Überhörwerte auf. Tabelle 7 zeigt die interindividuell minimalen Überhörabstände ohne Berücksichtigung von Vp 1.

Tabelle 7: Die für den Jecklin Float Model Two ermittelten geringsten Überhörabstände (ohne Vp 1).

	0,5 kHz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	6 kHz	8 kHz
ÜH min:	50.7	49.7	39.2	41.7	38.5	49.0

Der Überhörabstand des Jecklin Float Model Two liegt frequenzabhängig zwischen 38.5 und ca. 50 dB. Als Problem der Überhörabstandsmessungen an beidseitig hörgesunden Pbn stellte sich heraus, daß es keine leichte

Aufgabe für den Pb ist, bei contralateraler Maskierung festzustellen, ob ipsilateral das Testgeräusch zu hören ist oder nicht. Darin dürfte auch die Pegelabhängigkeit der ermittelten Überhörabstände begründet sein.

II - 8.2 Überhörabstandsmessungen an einem einseitig tauben Pb

Für eine weitere Meßreihe stand ein linksseitig tauber, rechtsseitig normalhöriger Pb zur Verfügung. An folgenden Kopfhörern wurden ipsi- und contralaterale Maskierfunktionen erstellt:

1. AKG K 1000
2. eine spezielle Variante des AKG K 1000, die contralateral eine geschlossene Kapsel zur Schallabschattung aufweist; dieser Kopfhörer wird benutzt, wenn der Überhörabstand des K 1000 aufgrund der Asymmetrie des Hörverlusts nicht ausreichend ist
3. Jecklin Float Modell Two
4. Beyer dynamic DT 770

Die ipsilaterale Maskierung erfolgte am gesunden Ohr. Bei der contralateralen Maskierung wurde das Signal auf das taube Ohr, das Maskiergeräusch auf das gesunde Ohr geboten. In Abbildung 49 sind die Überhörabstände der vier untersuchten Kopfhörer für die verschiedenen Frequenzbereiche dargestellt.

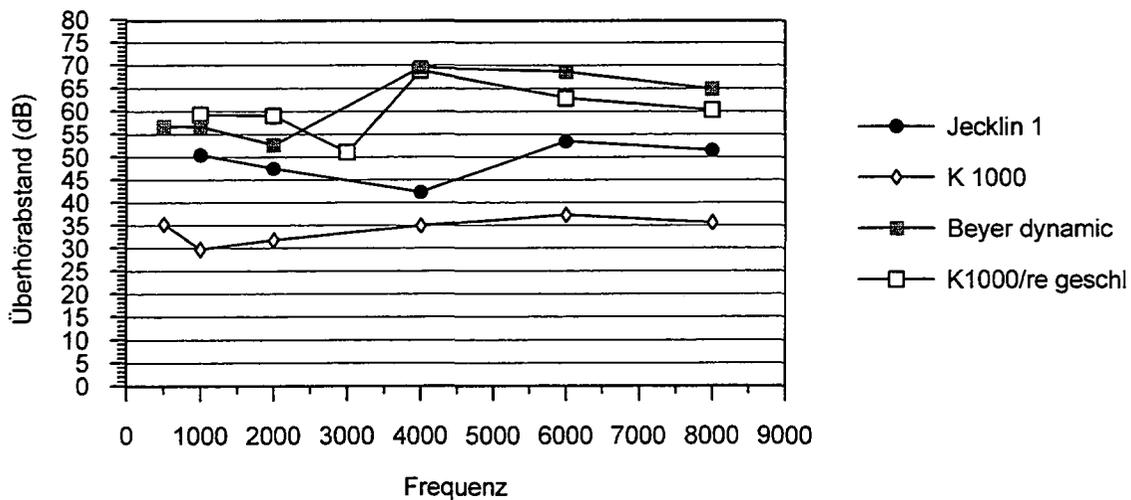


Abbildung 49: Überhörabstand des AKG K 1000, einer speziellen Variante des AKG K 1000, die contralateral eine geschlossene Kapsel zur Schallabschattung aufweist, des Jecklin Float Model Two und des Beyer dynamic DT 770.

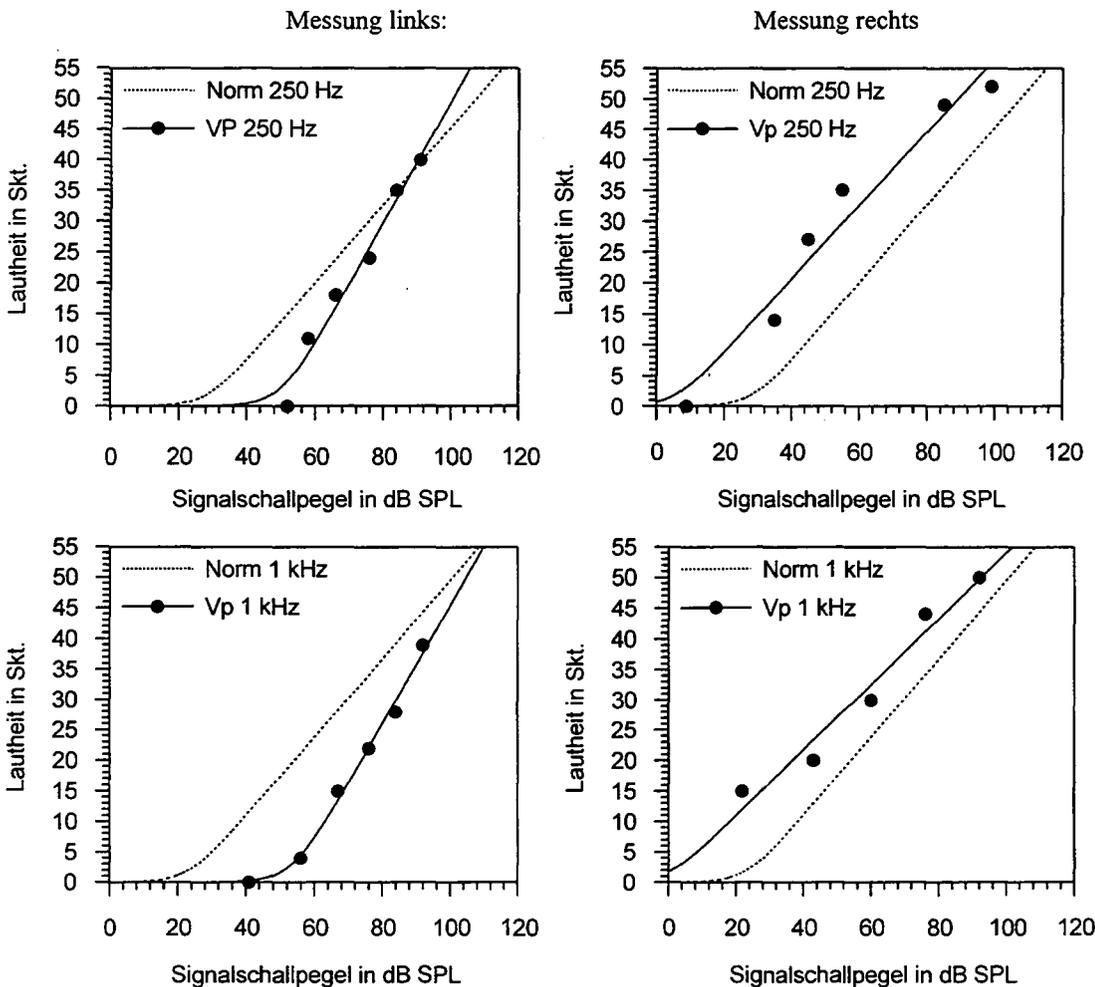
Es wird ersichtlich, daß der AKG K 1000 den geringsten Überhörabstand (frequenzabhängig 30 bis 37 dB) aufweist. Wird das Gegenohr mit einer Kapsel verschlossen (spezielle Variante des AKG K1000), so liegt der Überhörabstand um einiges höher (51 bis 69 dB je nach Frequenz). Der Überhörabstand des Jecklin Float Model Two liegt frequenzabhängig zwischen 42 und 53 dB, der des Beyer dynamic (geschlossener Kopfhörer) zwischen 53 und 70 dB. Die ermittelten Überhörabstände sollten durch Messungen an weiteren Pbn abgesichert werden.

II - 9 Monaurale Lautheitsfunktionen bei contralateraler Maskierung

Die Bestimmung monauraler frequenzspezifischer individueller Lautheitsfunktionen ist beim symmetrischen Gehör relativ problemlos. Beim asymmetrischen Gehör muß jedoch damit gerechnet werden, daß die Signale ab einem bestimmten Schallpegelbetrag auf das bessere Ohr übergehört werden, was eine Maskierung dieses Ohres notwendig macht. Die Überhörproblematik und die Maskierung sind in der Hörschwelendiagnostik bereits hinlänglich bekannt und erforscht. Im Bereich der Hörfeldaudiometrie betritt man hierbei jedoch weitgehend Neuland. Aber gerade hier ist die Wahrscheinlichkeit des Überhörens aufgrund der Tatsache, daß mit viel höheren Schallpegeln gearbeitet wird, weitaus größer als bei der Hörschwellenmessung.

II - 9.1 Problembereich

Die Notwendigkeit der Maskierung in der Hörfeldaudiometrie bei asymmetrischer Schwerhörigkeit wird bei Betrachtung von Abbildung 50 und Abbildung 51 deutlich. Es handelt sich um die Lautheitsfunktionen des einseitig gehörlosen Pbn (Alter: 21 Jahre), der auch bei der Ermittlung der Überhörabstände der Kopfhörer als V_p mitarbeitete. Die Messungen wurden monaural auf dem rechten und linken Ohr zunächst ohne (Abbildung 50) und dann mit Maskierung des normalhörigen rechten Ohres (Abbildung 51) durchgeführt, wobei die Darbietung der Testsignale jeweils alternierend auf dem rechten und linken Ohr erfolgte. Beim Maskierhörerfeld war der Pegel des Maskiergeräusches 50 dB leiser als der des Signales, da angenommen wurde, daß der Überhörabstand des verwendeten Kopfhörers ca. 50 dB beträgt.



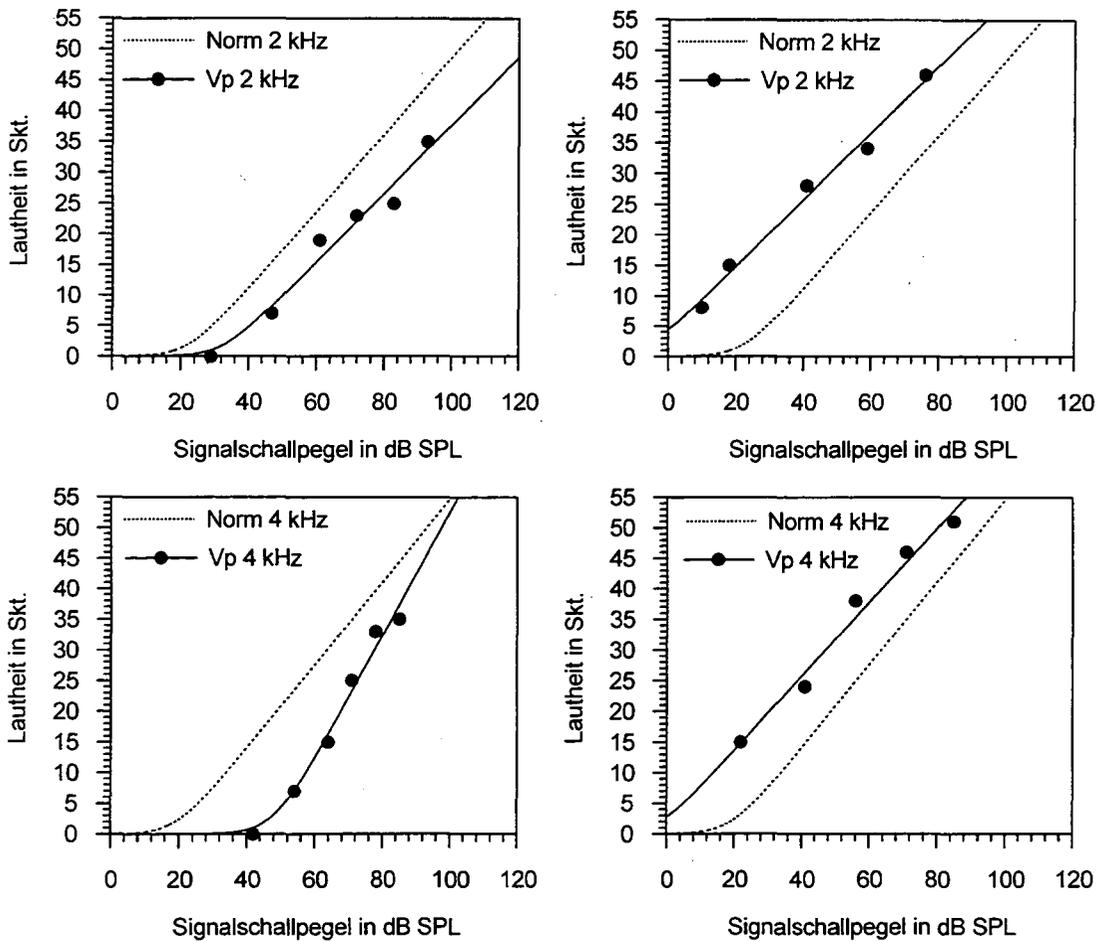
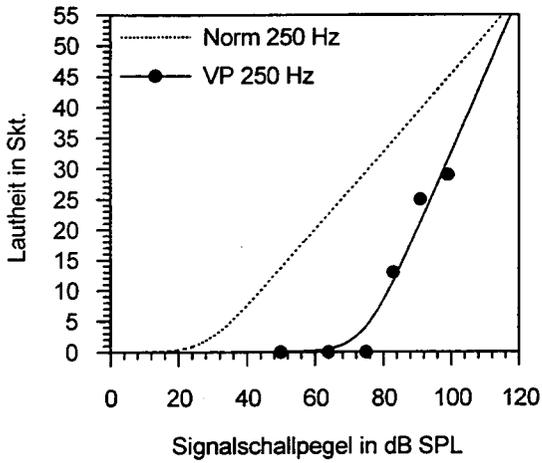


Abbildung 50: Lautheitsfunktionen für linkes und rechtes Ohr für 250, 1000, 2000 und 4000 Hz ohne Maskierung (Taubheit linkes Ohr).

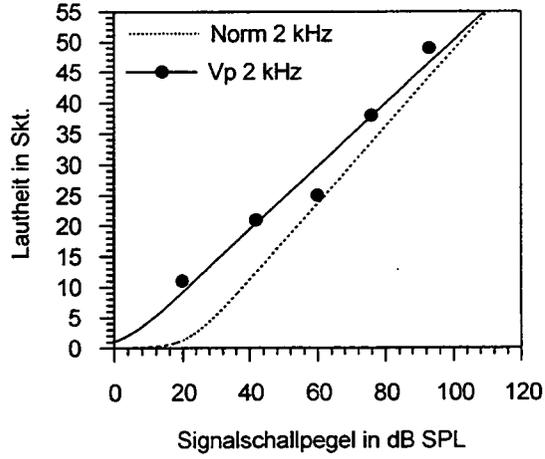
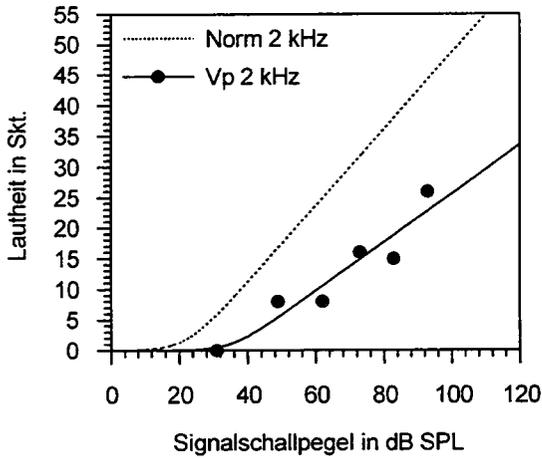
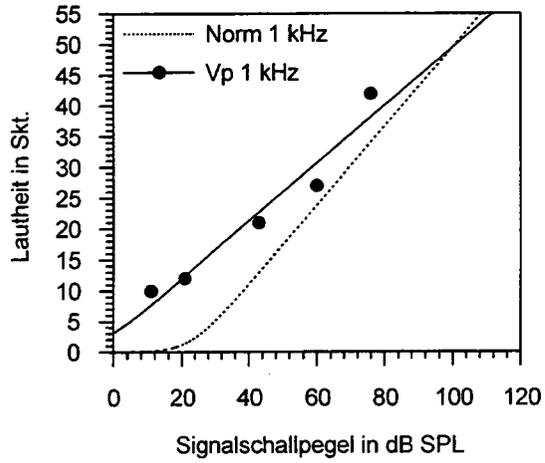
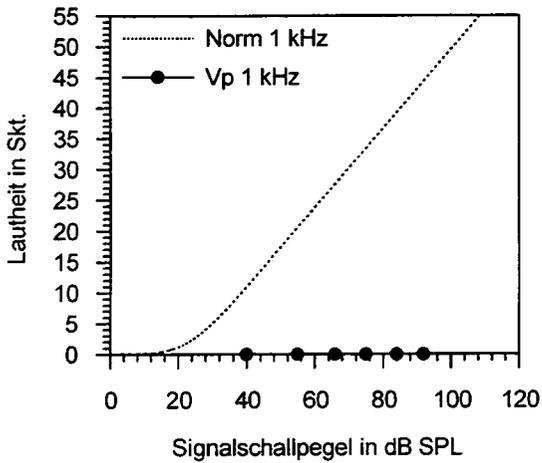
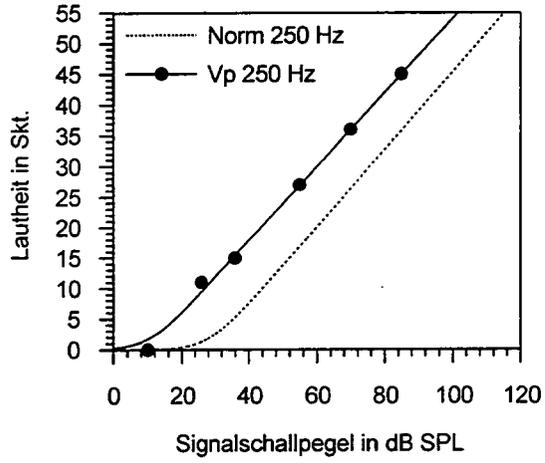
Die Lautheitsfunktionen des tauben Ohres in Abbildung 50 (Messung links) machen deutlich, daß man bei monauraler Untersuchung nur eines Ohres Gefahr läuft, die Taubheit dieses Ohres zu übersehen, da sich die Lautheitsfunktionen vor allem im tieffrequenten Bereich von einer Innenohrschwerhörigkeit mit Rekrutment nicht unterscheiden. Betrachtet man jedoch die Lautheitsfunktionen des normalhörigen rechten Ohres, so sieht man, daß diese links von der Norm liegen und flacher verlaufen als die des linken Ohres, was bedeutet, daß der Pb die Signale (und hier vor allem die leisen Signale) lauter beurteilt als die Norm. Bei einem zuvor mit dem Kopfhörer K 1000 durchgeführten Hörfeld des rechten Ohres lagen die Lautheitsfunktionen nahezu im Normbereich.

Die vom tauben Ohr übergehörten Signale hatten, nach Angaben des Pb, eine etwas andere Klangqualität als die am gesunden Ohr dargebotenen Testgeräusche ("sie klingen dünner und sind weiter weg"). Es könnte sein, daß der Pb die am (gesunden) rechten Ohr dargebotenen Signale nicht absolut, sondern relativ zu diesen "dünnen und entfernten" Signalen lauter eingestuft hat.

Messung links:



Messung rechts:



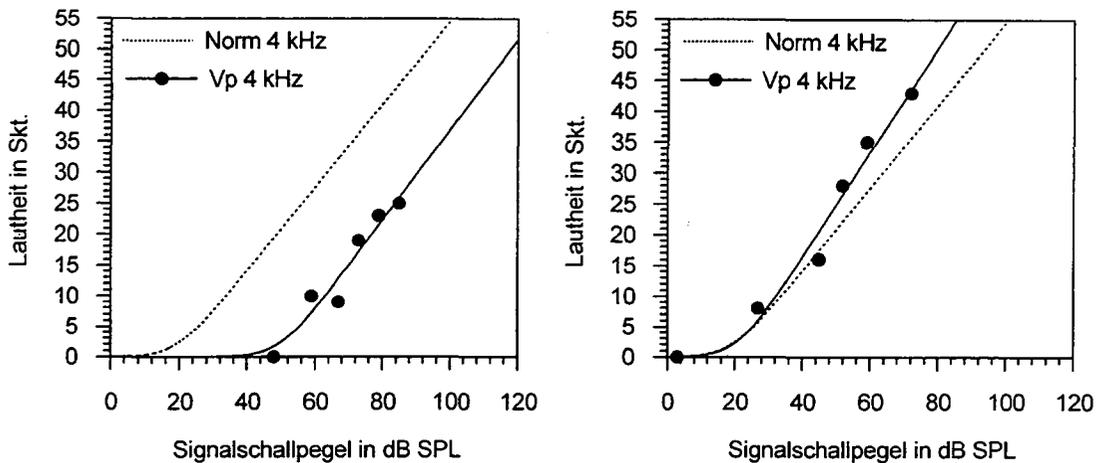


Abbildung 51: Lautheitsfunktionen für linkes und rechtes Ohr für 250, 1000, 2000 und 4000 Hz mit Maskierung (Taubheit linkes Ohr).

Aus Abbildung 51 geht hervor, daß die Maskierung des Gegenohres nicht in jedem Frequenzbereich gleich gut gelang. Sowohl bei 250 und 2000 Hz als auch bei 4000 Hz wurden die Signale weiterhin übergehört. Der Maskierpegel war demnach bei diesen Frequenzen nicht ausreichend. Die Lautheitsfunktionen des (normalhörigen) rechten Ohres weichen bei diesem Hörfeld allerdings nicht mehr so stark von der Norm ab wie im Hörfeld ohne Maskierung.

Die dargestellten Befunde weisen auf die Notwendigkeit der monauralen Untersuchung beider Ohren sowie der Maskierung im Hörfeld bei asymmetrischem Gehör hin. Des weiteren zeigt sich, daß sich die Erkenntnisse, die bezüglich der Maskierung in der Hörschwellenaudiometrie gewonnen wurden, nicht ohne weiteres auf die Hörfeldaudiometrie übertragen lassen. Selbstverständlich ist der Fall einseitiger Taubheit bei gesundem Gehör auf der anderen Seite der Extremfall asymmetrischen Hörens.

Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit der Frage, in welcher Weise contralaterale Maskierung zur Verhinderung des Signalüberhörens in der Hörfeldaudiometrie eingesetzt werden kann. Die berichtete Untersuchungsreihe wurde nur an normalhörigen Pbn ausgeführt. Die Ergebnisse lassen noch keine endgültigen Schlüsse über Möglichkeit und adäquate Methode der contralateralen Maskierung in der Hörfeldaudiometrie zu. Sie liefern aber die Grundlage für weitere Untersuchungen.

Prinzipiell lassen sich zwei Vermutungen äußern, wenn beim Normalhörigen ipsilateral ein schmalbandiges Signal (10%-SFMS-Ton) und contralateral ein mittenfrequenzgleiches Maskiergeräusch mit größerer Bandbreite geboten wird (23%-Rauschen).

1. Die beiden Schalle könnten binaural summieren.
2. Es könnte zentrale Maskierung durch das contralaterale Signal auftreten.

Unter zentraler Maskierung bedeutet in diesem Zusammenhang die Lautheitsdrosselung des ipsilateralen Signals durch einen contralateralen Schall, deren Ursache nicht in der Einkoppelung des contralateralen Schalls in die ipsilaterale Cochlea liegt, sondern retrocochleär zu suchen ist.

Neben diesen Wahrnehmungsfaktoren sind im Versuch mit contralateraler Maskierung auf der Beschreibungsseite systematische Unterschiede zur Hörfeldaudiometrie in Ruhe oder mit ipsilateraler Maskierung (Mithörfeld) denkbar. In der unvertrauten Situation divergierender Schalle rechts und links könnte sich die Sicherheit der Signaleinstufung reduzieren und die Einstufungen stärker streuen.

Die zu berichtenden Untersuchungen an normalhörigen Pbn sind so aufgebaut, daß sich sowohl binaurale Summation als auch zentrale Maskierung zeigen können. Außerdem wird in einer Versuchsbedingung mit einem konstanten Maskierpegel gearbeitet, in einer zweiten mit einem signalpegelabhängigen Maskierpegel. Der konstante Maskierpegel sollte sich weniger störend auf die Lautheitseinstufungen auswirken, als es bei variablem Maskierpegel der Fall ist.

Um Vorhersagen für die binaurale Summation zu gewinnen, stützen wir uns auf das von Ellermeier et al. (1985) formulierte Summationsmodell

$$L_{\text{bin}} = c \cdot \log \left[1 + \frac{(p_{\text{links}} + p_{\text{rechts}})^2}{(p_{\text{Hintergrund}})^2} \right]$$

wobei L_{bin} die binaurale Lautheit der phasenkohärenten Beschallung ist, p_{links} und p_{rechts} die Stimuluschalldrücke am linken und rechten Ohr, $p_{\text{Hintergrund}}$ der Schalldruck des effektiven Hintergrunds und c ein Skalenfaktor. Für inkohärente Beschallung muß der Quotient in der Klammer durch $(I_{\text{links}} + I_{\text{rechts}}) / I_{\text{Hintergrund}}$ ersetzt werden. Da Signal- und Maskierschall nicht völlig inkohärent sind, sollte der Summationsbetrag zwischen Drucksummation und Intensitätsummation liegen. Deshalb sind alle Summationsvorhersagen sowohl für Drücke als auch Intensitäten gerechnet worden.

II - 9.2 Experimenteller Zugriff

Eine Gruppen von elf normalhörigen Pbn wurde hörfeldaudiometrisch untersucht. Neben der Ruhebedingung (kein Maskierschall) wurden vier verschiedene Maskierbedingungen je Testsignal realisiert.

CM1: Contralaterale Maskierung mit signalpegelunabhängig konstant 40 dB

CM2(-12): Contralaterale Maskierung mit gegenüber dem Signalpegel 12 dB niedrigerem Maskierpegel

CM2(=S): Contralaterale Maskierung mit gleichem Signal- und Maskierpegel

CM2(+12): Contralaterale Maskierung mit gegenüber dem Signalpegel 12 dB höherem Maskierpegel.

Die insgesamt fünf Darbietungsbedingungen waren auf drei Hörfeldaudiometriesitzungen verteilt: Ruhemesung, Messung mit konstantem Maskierpegel (CM1) und Messung mit signalpegelabhängigem Maskierpegel (CM2). In der Ruhe-Messung umfaßte der Testfrequenzensatz 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, und 8 kHz, bei CM1 wurden 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, und 8 kHz untersucht. In Bedingung CM2, bei der jedes Signal mit drei verschiedenen Maskierpegeln geboten wurden, wurden die Frequenzen 0.5, 1.4, 4 kHz geboten. Die Frequenzen .5 und 4 kHz lassen sich über alle fünf Darbietungsbedingungen vergleichen.

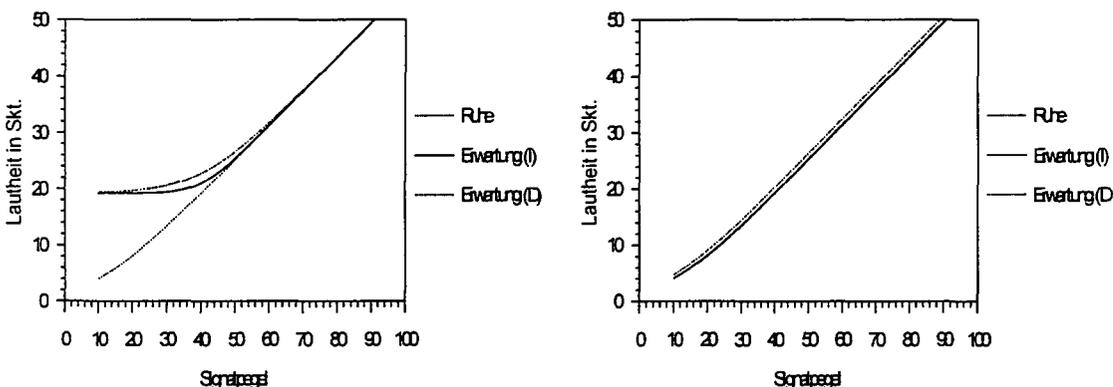


Abbildung 52: Ruhelautheitsfunktion und erwartete Funktionsverläufe bei binauraler Schalldrucksummation Erwartung (D) und Intensitätsummation (Erwartung(I)); links: CM1; Maskierpegel konstant 40 dB; rechts: CM2(-12); Maskierpegel 12 dB niedriger als Signalpegel.

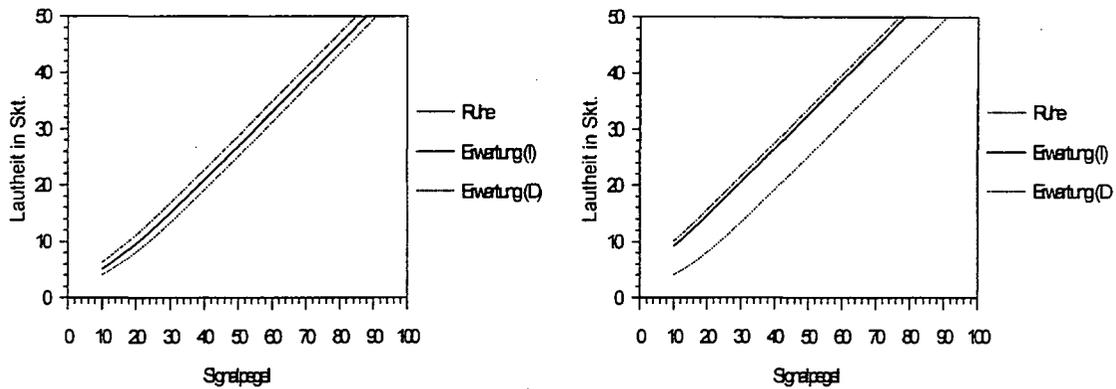


Abbildung 53: Ruhelautheitsfunktion und erwartete Funktionsverläufe bei binauraler Schalldrucksum- mation Erwartung (D) und Intensitätssum- mation (Erwartung(I)); links: CM2(=S); Maskierpegel gleich Signalpegel; rechts: CM2(+12); Maskierpegel 12 dB höher als Signalpegel.

In Abbildung 52 und Abbildung 53 sind die kollektiven monauralen Ruhelautheitsfunktionen der untersuchten Pbn und die daraus berechneten Vorhersagen für binaurale Schalldruck- und binaurale Schallintensitätssummati- on je Maskierbedingung dargestellt. Es ist erkenntlich, daß sich vor allem die Bedingung CM1 (konstanter Mas- kierpegel) und die Bedingung CM2(+12) eignen, um die Summationshypothese zu prüfen. Wenn die empiri- schen Lautheitsfunktionen unterhalb der Ruhe-Funktion lägen, würde dies auf zentrale Maskierung hinweisen. Sollten die Lautheitsfunktionen, die bei contralateraler Maskierung zu ermitteln sind, identisch mit der Ruhe- Funktion sein, so wäre gezeigt, daß contralaterale Maskierung sich zur Kontrolle des Signalüberhörens in der Hörfeldaudiometrie einsetzen läßt.

II - 9.3 Ergebnisse

II - 9.3.1 Binaurale Summation und zentrale Maskierung

An die individuellen empirischen Lautheitsfunktionen wurden die Konstanten c und R der modifizierten Fechner- Funktion

$$L = c \cdot \log(1 + S/R)$$

angepaßt, wobei L der Lautheit in Skalenteilen, S der Schallintensität des Signals, R der Schallintensität des effektiven Störgeräusches und c ein Skalenfaktor ist. Der Parameter c kovariert mit der Steigung der Funktion. Die weitere Auswertung erfolgte anhand der individuellen Funktionswerte zu den gebotenen Schallpegeln.

In Abbildung 54 bis Abbildung 57 sind je Testfrequenz und Maskierbedingung die kollektiven Lautheitsfunktio- nen für Ruhe und Maskierung (modifizierte Fechner-Funktion an die Mittelwerte der individuellen Funktions- werte angepaßt) dargestellt, außerdem die aufgrund der beiden Summationshypothesen zu erwartenden Funktio- nen.

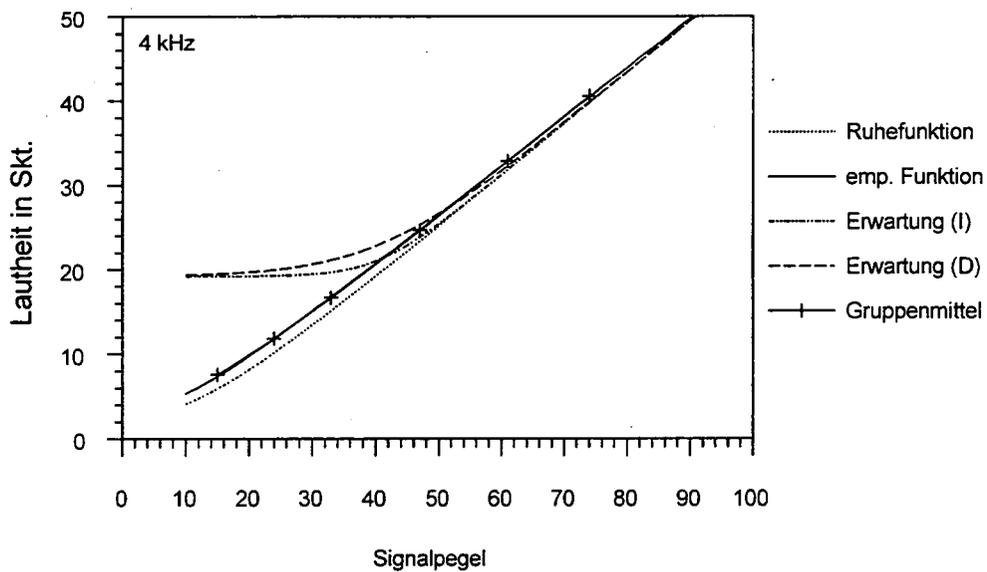
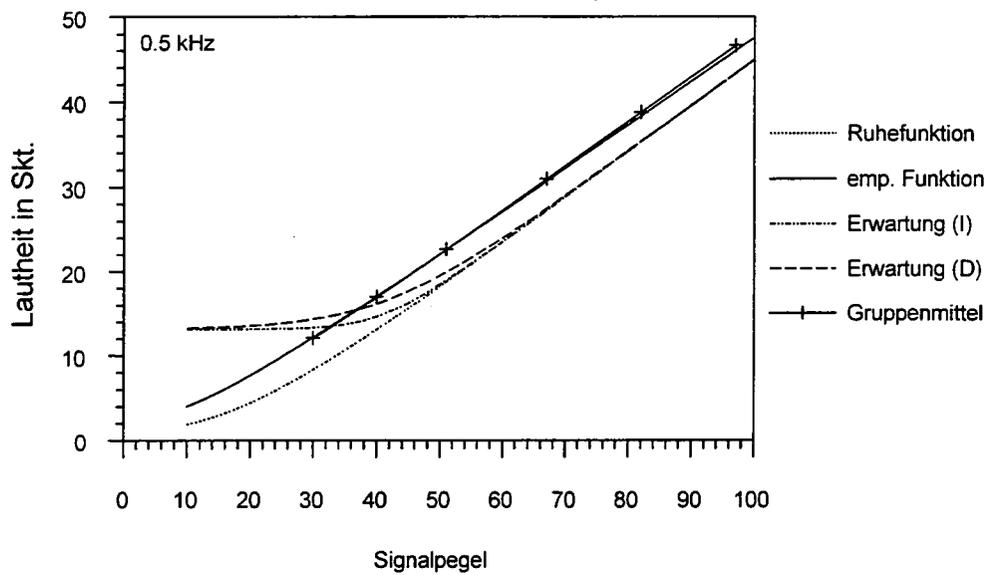


Abbildung 54: Kollektive Lautheitsfunktionen der Ruhebedingung und der CM1-Bedingung (contralaterale Maskierung: 40 dB) mit Gruppenmittelwerten und für binaurale Summation erwartetem Funktionsverlauf. Erwartung (I): Intensitätssummation, Erwartung (D): Drucksummation.

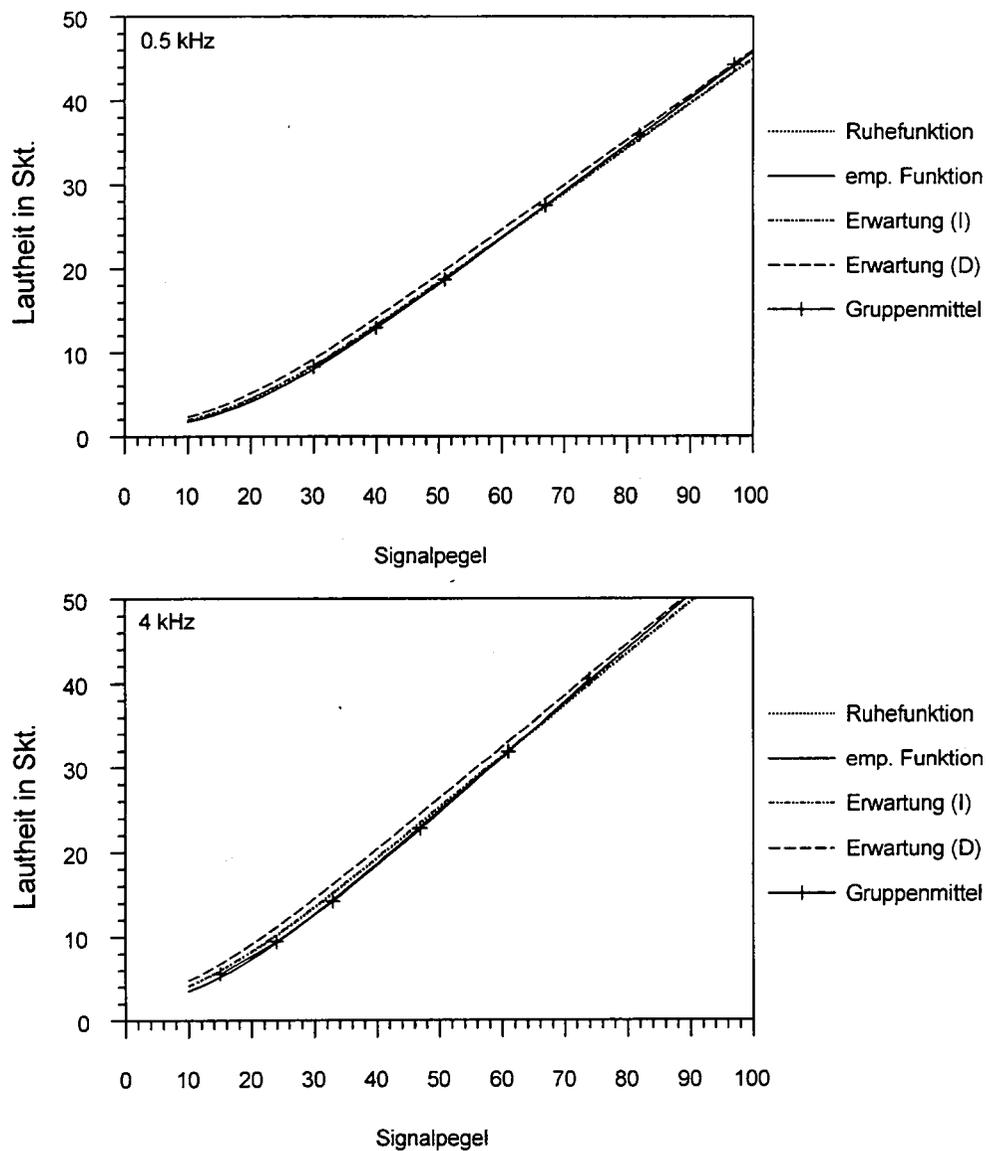


Abbildung 55: Kollektive Lautheitsfunktionen der Ruhebedingung und der CM(-12)-Bedingung (contralaterales Maskiergeräusch 12 dB leiser als Signal) mit Gruppenmittelwerten und für binaurale Summation erwartetem Funktionsverlauf. Erwartung (I): Intensitätssummation, Erwartung (D): Drucksummation.

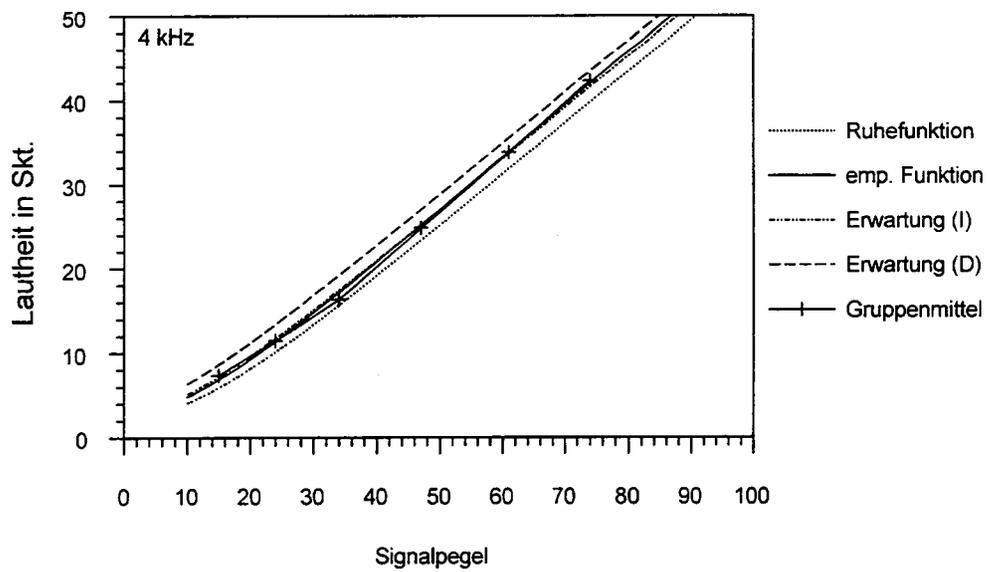
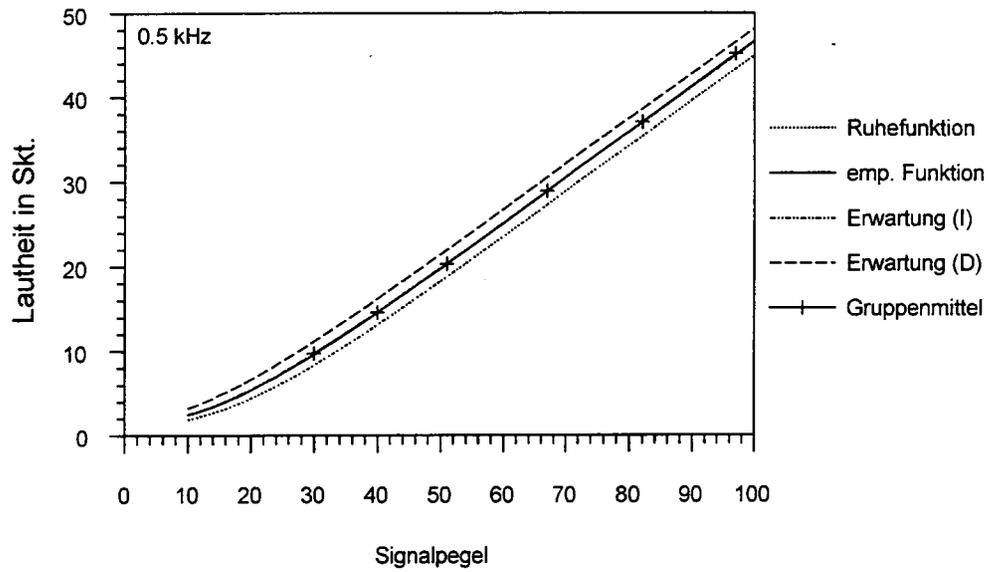


Abbildung 56: Kollektive Lautheitsfunktionen der Ruhebedingung und der CM(=S)-Bedingung (Maskiergeräuschpegel gleich Signalpegel) mit Gruppenmittelwerten und für binaurale Summation erwartetem Funktionsverlauf. Erwartung (I): Intensitätssummation, Erwartung (D): Drucksummation.

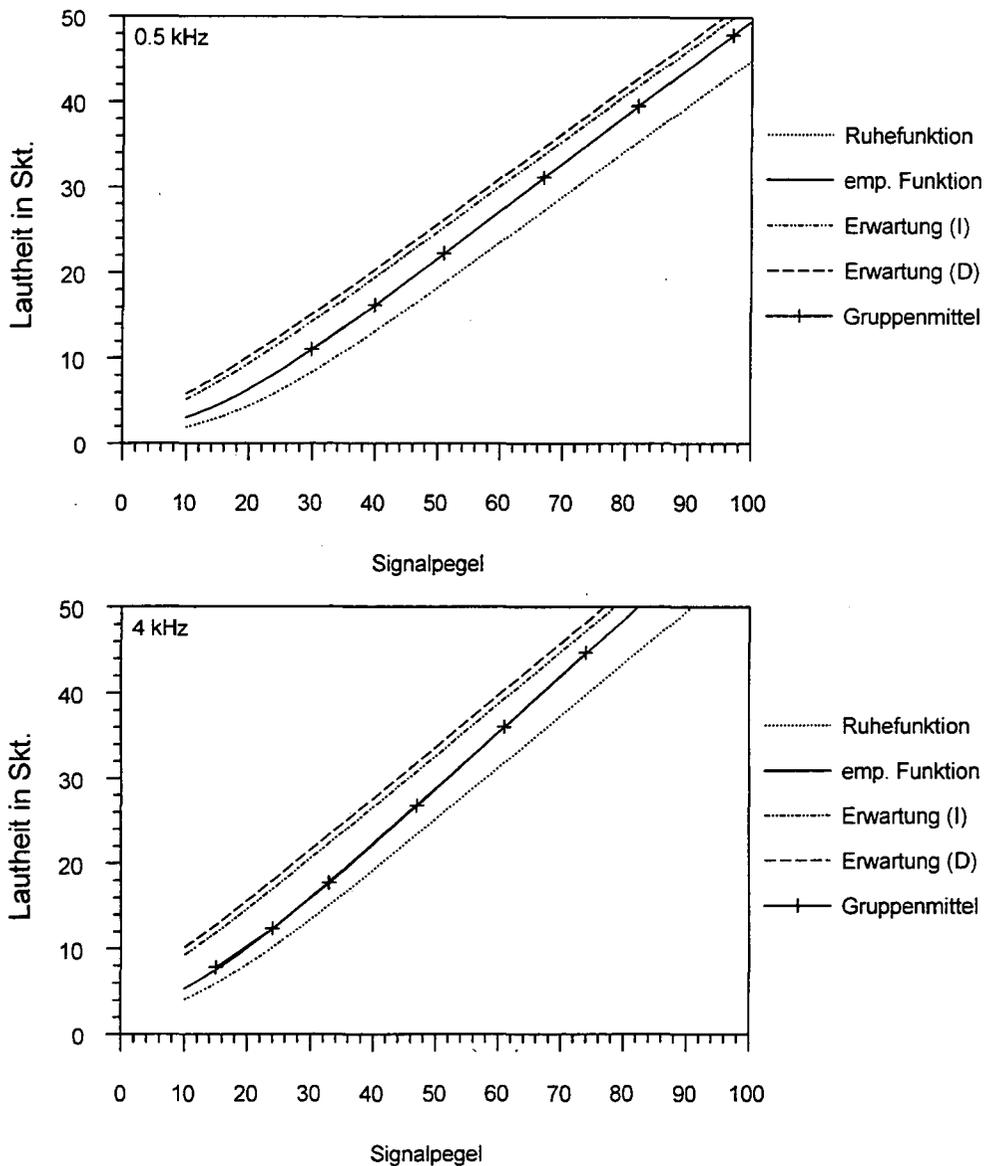


Abbildung 57: Kollektive Lautheitsfunktionen der Ruhebedingung und der CM(+12)-Bedingung (contralaterales Maskiergeräusch 12 dB höher als Signalpegel) mit Gruppenmittelwerten und für binaurale Summation erwartetem Funktionsverlauf. Erwartung (I): Intensitätssummation, Erwartung (D): Drucksummation.

Wie aus Abbildung 54 hervorgeht, werden die Signale bei 0.5 kHz in der Maskierbedingung CM1 (konstanter Maskierpegel) lauter eingestuft als in Ruhe, wobei der Funktionsverlauf der Maskierbedingung im wesentlichen dem der Ruhefunktion entspricht. Bei 4 kHz unterscheiden sich Ruhefunktion und empirischer Funktion der Maskierbedingung nur dadurch, daß letztere im Leisebereich etwas über der Ruhefunktion liegt und einen etwas flacheren Verlauf aufweist. Ein gemäß der binauralen Summation erwarteter abszissenparalleler Verlauf der Funktionen im Leisebereich liegt nicht vor. Bei 0.5 kHz beträgt der geringste Signalpegel 30 dB, weshalb keine Vorhersage über den Funktionsverlauf im Leisebereich jenseits dieses Pegels gemacht werden kann. Abbildung 55 zeigt die Bedingung CM2(-12). Ruhe- und erwartete Funktion sind nahezu identisch. Mit der Hypothese der Intensitätssummation sind die Ergebnisse der Bedingung CM2(=S) (gleicher Signal- und Maskierpegel) vereinbar. Abbildung 56 zeigt die kollektiven Funktionen. Auch in der Bedingung CM2(+12) sind die maskierten Lautheitsfunktionen nicht mit den Ruhefunktionen identisch. Sie sind etwas steiler und liegen zwischen Ruhefunktion und den beiden hypothetischen Summationsfunktionen.

Einige Funktionsverschiebungen in Richtung der bei Summation zu erwartenden Funktionen sind festzustellen und, wie Tabelle 8 zeigt, inferenzstatistisch abgesichert, jedoch spricht das Ergebnis der Bedingung CM1, 4 kHz eindeutig gegen einen generellen Summationsprozeß. Anzeichen für zentrale Maskierung sind nicht zu finden. Die gefundenen Funktionsunterschiede bedürfen weiterer Klärung.

Tabelle 8: Signifikanzen der für die Einstufungsdifferenzen berechneten t-Tests (Lautheit(Maskierbedingung)-Ruhe-Lautheit); *: signifikant auf dem 5%-Niveau. **: signifikant auf dem 1%- Niveau. (): inter- bzw. extrapolierte Werte.

500 Hz	30 dB	40 dB	51 dB	67 dB	82 dB	97 dB
CM1	**	**	*	*	*	-
CM2(-12)	-	(-)	-	-	-	-
CM2(=S)	-	(-)	-	-	-	-
CM2(+12)	**	(**)	**	*	*	(-)

4 kHz	15 dB	24 dB	33 dB	47 dB	61 dB	74 dB
CM1	-	-	-	-	-	-
CM2(-12)	-	(-)	-	-	-	-
CM2(=S)	-	(-)	-	-	*	*
CM2(+12)	-	(-)	*	**	*	(**)

II - 9.3.2 Interindividuelle Einstufungskonsistenz

Die verschiedenen Maskier-Bedingungen könnten in unterschiedlichem Maß die Einstufungssicherheit beeinträchtigen. Als Parameter bietet sich die interindividuelle Streuung der Lautheitseinstufungen an. Um zu überprüfen, ob sich die verschiedenen Darbietungsbedingungen in der interindividuellen Einstufungskonsistenz unterscheiden, wurden je Maskierbedingung die F-Brüche aus der Werte-Varianz unter Maskierung und der Werte-Varianz der Ruhe-Bedingung auf Signifikanz geprüft. Tabelle 9 zeigt das Ergebnis.

Tabelle 9: Signifikante Varianzunterschiede zwischen Ruhe-Lautheitsfunktion und contralateral maskierten Lautheitsfunktionen. (*): signifikant auf dem 10%-Niveau. (): inter- bzw. extrapolierte Werte.

500 Hz	30 dB	40 dB	51 dB	67 dB	82 dB	97 dB
CM1	-	-	-	-	-	-
-12	-	(-)	-	-	-	-
=S	-	(-)	-	-	-	-
+12	-	(-)	-	-	(*)	((**))

4 kHz	15 dB	24 dB	33 dB	47 dB	61 dB	74 dB
CM1	-	-	-	-	-	-
-12	-	-	-	-	-	-
=S	-	-	-	-	-	-
+12	-	-	-	(*)	(*)	((**))

Varianzunterschiede zur Ruhe-Bedingung finden sich nur, wenn der Maskierpegel 12 dB über dem Signalpegel liegt (CM2(+12), hierbei auch nur bei höheren Signalpegeln. In Abbildung 58 sind die Streuungen graphisch dargestellt.

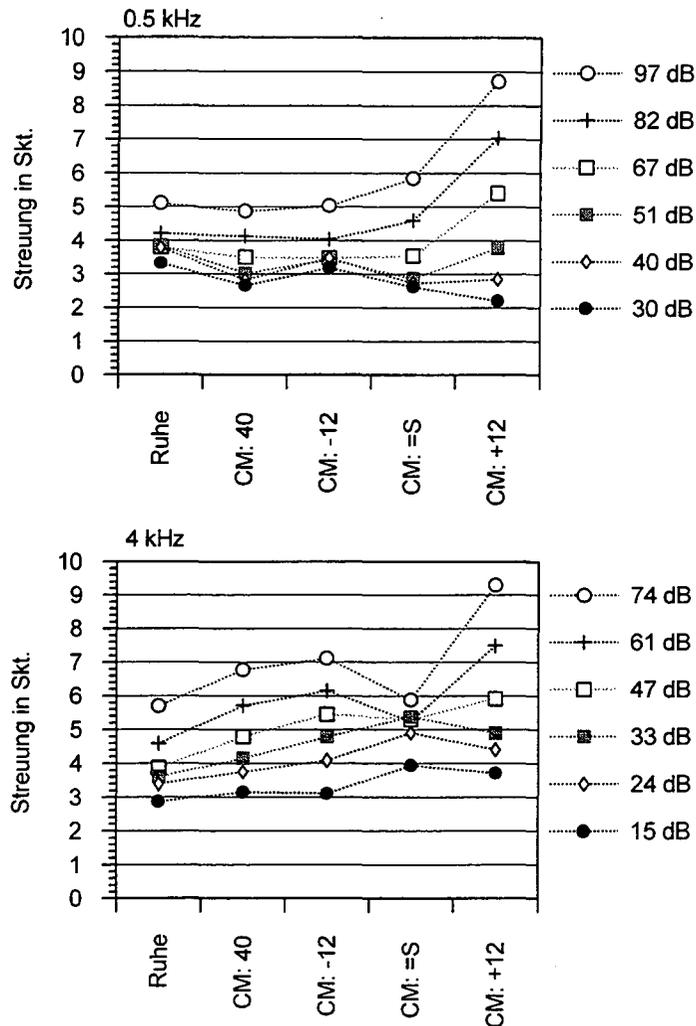


Abbildung 58: Interindividuelle Standardabweichungen der verschiedenen Hörfeldbedingungen (aus angepaßten Funktionen berechnete Lautheiten) für 0.5 und 4 kHz für jeweils 6 Signalpegel. N=11.

Die Standardabweichungen steigen mit zunehmendem Signalschallpegel. Die Bedingung CM2(+12) weist in jedem Frequenzbereich die größten Streuungen bei den beiden lautesten Pegeln auf. Da der lauteste Pegel in dieser Bedingung nicht untersucht, sondern lediglich anhand der Funktionsparameter geschätzt wurde, sind die Streuungsunterschiede nur eingeschränkt interpretierbar. Im Leisebereich weichen die Streuung von CM2(+12) weniger stark von denen der anderen Hörfeldbedingungen ab. Bei 0.5 kHz sind die geringsten Streuungen bei CM2(=S) und CM2(+12) im Leisebereich zu finden. Während bei 0.5 eine Pegelabhängigkeit der Standardabweichungen vorwiegend für die Bedingungen CM2(=S) und CM2(+12) besteht, ist bei 4 kHz in jeder der Hörfeldbedingungen ein Anstieg der Streuungen mit zunehmendem Signalschallpegel zu verzeichnen.

Die größeren Streuungen in der Bedingung CM2(+12) zeigen klar, daß beim Einsatz der contralateralen Maskierung zur Kontrolle des Signal-Überhörens auf Konsequenzen für die Beschreibungsstabilität zu achten ist. Die festgestellten Niveau-Verschiebungen der Lautheitsfunktionen bei contralateraler Maskierung lassen es überdies als dringlich erscheinen, in weiteren Studien zusätzliche Anhaltspunkte über die Einsetzbarkeit der contralateralen Maskierung in der Hörfeldaudiometrie zu gewinnen.

II - 9.4 Literaturverzeichnis

ELLERMEIER, W., HELLBRÜCK, J., HELLER, O., NOWAK, T. (1985): Direkte Skalierung binauraler Lautheitssummation: Ein neues psychophysikalisches Modell. *Psychologische Beiträge* 27, S. 509-519.

II - 10 Untersuchungen zur Reliabilität und Sensitivität der Hörfeldaudiometrie

M. Boretzki¹, O. Heller¹, W. Knoblach¹, E. Fichtl¹, A. Stock¹, M. Opitz²

¹ Psychologisches Institut, Lehrstuhl III, Universität Würzburg

² AKG Acoustics Entwicklungsabteilung, Wien

Die Hörfeldaudiometrie ist ein am Psychologischen Institut III der Universität Würzburg entwickeltes diagnostisches Verfahren zur Untersuchung der Lautheitswahrnehmung (Heller, 1982, 1985). Sie eignet sich zur überschwelligeren Beschreibung von Schwerhörigkeiten und zur Maßgabe und Überprüfung von Hörgeräteanpassungen. Sie beruht auf der Lautheitseinstufung von schmalbandigen Geräuschen, die in Pegel und Frequenz das individuelle Hörfeld abdecken, anhand des Kategorienunterteilungsverfahrens (KU, Skala: Abb. 1). Als Schallwandler wird ein offener Kopfhörer mit Freifeldcharakteristik verwendet, der monaurale Untersuchungen ohne und mit Hörgerät ermöglicht. Zwei Untersuchungsreihen zur Reliabilität und Sensitivität der Methode zeigen, daß die Hörfeldaudiometrie Unterschiede der Lautheitswahrnehmung zwischen Normal- und Schwerhörigen in Art und Ausmaß präzise und valide erfaßt.

	53
	52
schmerzhaft laut	51
<hr/>	
	50
	49
	48
	47
sehr laut	46
	45
	44
	43
	42
	41
<hr/>	
	40
	39
	38
	37
	36
	35
laut	34
	33
	32
	31
<hr/>	
	30
	29
	28
	27
nittel	26
	25
	24
	23
	22
	21
<hr/>	
	20
	19
	18
	17
leise	16
	15
	14
	13
	12
	11
<hr/>	
	10
	9
	8
	7
sehr leise	6
	5
	4
	3
	2
	1
<hr/>	
nichts gehört	0

Abbildung 59: KU-Skala der Lautheit.

II - 10.1 Beschreibung der Methode

Meßziel: Das Ziel des Verfahrens ist die Ermittlung der frequenzspezifischen individuellen Lautheitsfunktionen (Zusammenhang zwischen wahrgenommener Lautheit und Schallpegel, Abb. 2). Über die Pegeldifferenzen zwischen Norm- und individueller Lautheitsfunktion bei gleicher Lautheit (waagrechte Abstände der Funktionen) läßt sich frequenz- und eingangspegelspezifisch der Hörverlust bzw. die lautheitsrehabilitierende Verstärkung in Dezibel angeben. Die Meßergebnisse sind als Lautheitsfunktionen, Verlust- und Verstärkungsbedarfsdiagramme und als Input/Output-Funktionssatz darstellbar.

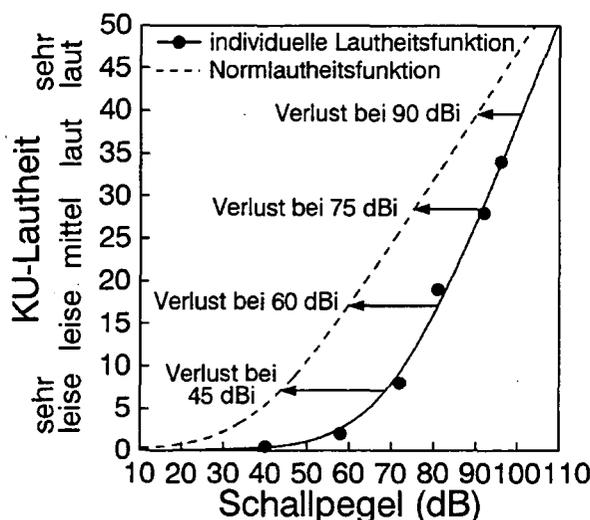


Abbildung 60: Lautheitsfunktion.

Meßprogramm und Geräuschmaterial: Als Testgeräusche werden stochastisch im 10%-Band frequenzmodulierte Sinustöne verwendet (SFMS: lineare Frequenzüberblendung, Umschaltrate 100/s, Zeitverhältnis der Stabil- und Überblendphasen: 1:1). Diese Geräusche sind äußerst flankensteil, amplitudenkonstant, für Lautsprecherdarbietung nutzbar und haben phänomenal rauschcharakter. Das Standardmeßprogramm umfaßt die Testfrequenzen .25, .5, 1, 2, 3, 4, 6 und 8 kHz mit jeweils Hörschwelle und fünf überschwelligen Pegeln, die möglichst das ganze Lautheitskontinuum von sehr leise bis sehr laut abdecken. Jedes Geräusch wird zur Einstufung (s.u.) zweimal mit jeweils 1.5 s Dauer geboten. Je nach Bedarf kann ein anderer Testfrequenzsatz gewählt werden. Meßprogrammvarianten stellen das Kurzhörfeld (keine Hörschwellenmessung, nur vier überschwellige Pegel) und das Mithörfeld (Signaldarbietung im Störgeräusch, z.B. Stimmengewirr) dar.

Normen: Zur frequenzspezifischen Ermittlung der Normlautheitsfunktionen wurden bisher knapp 200 hörgesunde Personen ruhe- und mithörfeldaudiometrisch (10%-, 23%-SFMS, 41%-Schmalbandrauschen) untersucht; die Normstichprobe wird laufend erweitert.

Schallwandler: Als Schallwandler wird der offene Kopfhörer AKG K 1000 mit vollständig abgeklappten Lautsprechern eingesetzt (Überhörabstand 30 dB bei 1 kHz). Mit ihm sind monaurale Gehöruntersuchungen mit und ohne Hörgerät (In-dem-Ohr (IdO), Hinter-dem-Ohr (HdO)) möglich, so daß die lautheitsrehabilitierenden Wirkungen von Hörgeräten für linkes und rechtes Ohr getrennt erfaßbar sind.

Für deutlich asymmetrische Hörverluste steht die Variante AKG K 1000 - K 270 zur Verfügung (Überhörabstand 60 dB bei 1 kHz), über deren geschlossene K 270-Kapsel contralateral vertäut werden kann. Abbildung 3 zeigt die Freifeldentzerrung des K 1000 für den HdO- und den IdO-Mikrophonort, die für die Kalibrierung der Schallwandlung erforderlich ist. Hierfür wurden am Neumann-Kunstkopf KU81 mit extern angebrachten Sondenmikrofonen a) die Freifeld-Übertragungsfunktion für den Schalleinfall aus 0 Grad in der Horizontalebene und b) die Kopfhörer-Übertragungsfunktion des AKG K 1000 in vollständig abgeklappter Stellung sowohl an der HdO- als auch an der IdO-Position gemessen und die Entzerrungsfunktionen "Freifeld"/"Kopfhörer" ermittelt. Alle Messungen und Filterberechnungen wurden mit dem Programm AKG FIM-Filtermanager unter Verwendung der ARIEL DSP56-Signalprozessorkarte auf PC486 durchgeführt. Eine Vorläuferversion der Meßeinrichtung ist in ihren Grundzügen bei Pösselt et al., 1988 beschrieben.

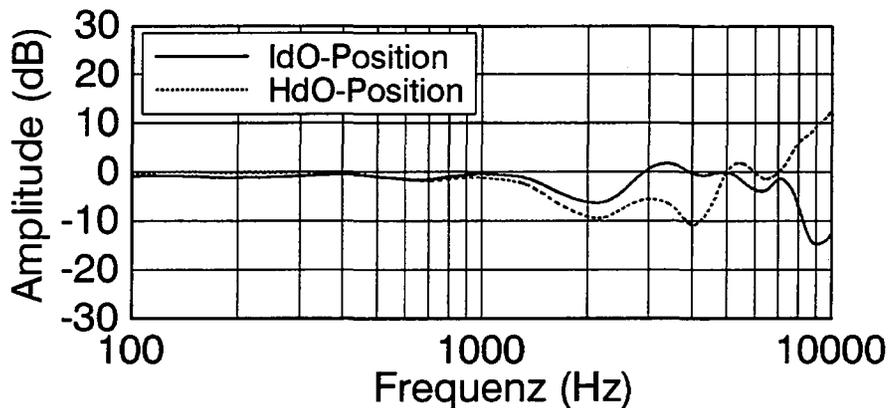


Abbildung 61: K 1000-Entzerrungsfunktionen.

Pegelwahl: Das Standardmeßprogramm schaltet vor die Lautheitseinstufungen im Hörfeld die Hörschwellenmessung (absteigendes Eingabelungsverfahren). Die fünf überschwelligen Pegel werden je Testfrequenz zwischen individueller Hörschwelle und dem Norm-Pegel zu sehr laut so eingepaßt, daß sich bei vollständigem Recruitment die Lautheiten sehr leise, leise, mittel, laut und sehr laut ergäben (Stimulus-Design). Stellt sich während der Untersuchung heraus, daß sich die höheren Lautheitsbereiche bei einzelnen Testfrequenzen mit den vorgewählten Pegeln nicht erreichen lassen, werden soweit möglich höhere Pegel eingesetzt.

Aufgabe des Probanden: Die sachgerechte Instruktion des Probanden (Pb) zur Lautheitseinstufung ist von entscheidender Bedeutung für die Präzision der hörfeldaudiometrischen Diagnose. Dies setzt eine entsprechende Schulung des Versuchsleiters (VI) voraus. Der Pb hat die Aufgabe - unterstützt durch die KU-Skala (Abb. 1), die Lautheit der Testgeräusche zweistufig im KU-Verfahren einzustufen. Nach der ersten Darbietung des Geräusches teilt er dem VI mit, ob das Geräusch sehr leise, leise, mittel, laut oder sehr laut war. Nach der zweiten Darbietung nennt er innerhalb der zur Kategorie gehörenden Dekade die Zahl, die die Lautheit des Geräusches am treffendsten wiedergibt. Er kann sich Geräusche wiederholen lassen und wenn erforderlich seine gerade mitgeteilte Einstufung korrigieren. Wesentlich ist die extraspektive, auf Exaktheit hin ausgelegte Haltung des Pb bei der Lautheitseinstufung. Er beschreibt so genau wie möglich eine "objektive" Eigenschaft von Geräuschen ("Wie laut ist das Geräusch?"), die im Schwerhörigkeitsfall durch das Gehör verändert ist ("Wie laut hören Sie das Geräusch?"), nicht aber "Subjektives" oder "Psychisches". Subjektivierende Fragen der Art "Wie laut schätzen Sie das Geräusch ein?", "Wie laut ist das Geräusch Ihrer Meinung nach?", "Wie laut empfinden Sie das Geräusch persönlich?" müssen bei der Gehöruntersuchung unbedingt vermieden werden. Steht man erstmals vor der Aufgabe, Lautheit im KU-Verfahren einzustufen, so kann bei manchen Pbn die Frage nach der Machbarkeit ("So genau kann man das doch nicht sagen", "Das ist doch subjektiv") eine Hürde darstellen. Sie läßt sich jedoch zuallermeist durch überzeugenden Zuspruch seitens des VI und den Hinweis beseitigen, daß diese Unsicherheit nach wenigen Lautheitseinstufungen verschwindet. In jedem Fall wird dem Pb vor Beginn der Lautheitseinstufungen zur Orientierung eine Geräuschfolge dargeboten, die von sehr leise bis sehr laut variiert. Der Pb vergewissert sich hierbei, daß er weiß, was sehr leise, sehr laut, mittel etc. ist. Diese ursprüngliche Orientiertheit über Lautheitsgrade muß über die ganze Gehöruntersuchung hinweg erhalten bleiben. Wird der Pb unsicher, hört er erneut die Orientierungsgeräuschfolge.

Abfolge der Geräusche: Der VI gestaltet die Geräuschabfolge so, daß aufeinanderfolgende Geräusche möglichst tonhöhen- und lautheitsunähnlich sind, damit die geforderte absolute Lautheitsbeschreibung nicht gestört wird durch einen sich aufdrängenden Lautheitsvergleich. Die Lautheitsorientiertheit wird dadurch gestützt, daß in nicht zu großen Abständen alle fünf Kategorien auftreten. In der Regel wird jedes Geräusch des Stimulus-Designs nur einmal eingestuft. Erweisen sich bei (fast) vollständigem Datensatz Einstufungen als unplausibel, läßt der VI die entsprechenden Geräusche erneut einstufen.

Interpolationsfunktionen: An die Lautheitseinstufungen werden die Funktionsgleichungen a) $L = a \cdot \log(1 + 10^{((S-R)/20)})$ und b) $L = a \cdot S + b$ (L: KU-Lautheit, S: Signalpegel, R: Rauschpegel) abweichungsquadratminimierend angepaßt. Die besser passende Funktion wird zur Interpolation verwendet (in der Regel a), bei extremem Recruitment oft b)).

II - 10.2 Reliabilität des Verfahrens

Um die Genauigkeit der beschriebenen Hörfeldaudiometriemethode zu prüfen, wurde eine Stichprobe von 29 Normalhörigen und 18 überwiegend sensorineural Schwerhörigen im Abstand von etwa einer Woche zweimal hörfeldaudiometrisch untersucht. Als Schallwandler fungierten Jecklin Float model II und AKG K 1000 (je Untersuchungspaar gleicher Wandler). Bei den Normalhörigen wurde lediglich ein Ohr, bei den Schwerhörigen bis auf eine Ausnahme beide Ohren monaural getestet (insgesamt 64 Ohren). Geschulte studentische Hilfskräfte führten die Untersuchungen als VI durch. Zur Reliabilitätsbestimmung wurde für die Testfrequenzen von .25 bis 8 kHz und die Lautheitsstufen sehr leise-5, leise-15, mittel-25, laut-35 und sehr laut-45 der Schallpegel für erste und zweite Messung (P1, P2) sowie die jeweilige Pegeldifferenz ermittelt, soweit keine Extrapolation in den Pegelbereich oberhalb von 5 dB über dem höchsten dargebotenen Pegel erforderlich war. Da nicht bei allen Ohren in allen Frequenzen die höheren Lautheitsgrade erreicht werden konnten, verringern sich die Fallzahlen hier entsprechend. Über die P2-P1-Korrelation bzw. die P2-P1-Differenzen läßt sich die Wiederholgenauigkeit der Hörverlustbestimmung erfassen. Die Höhe der Korrelation von P1 und P2 ist neben der Methodengenauigkeit und intraindividuellem Verlustvarianz über die Meßzeitpunkte von der interindividuellen Verlustvarianz abhängig. Diese ist infolge des Recruitments der Schwerhörigen bei den niedrigen Lautheitsgraden höher als bei höheren. Für die acht Testfrequenzen und den Grad sehr leise-5 betragen die Korrelationen: .88, .92, .87, .92, .88, .89, .92 und .90. Für mittel-25 (Verlustvarianz deutlich geringer, bei den hohen Frequenzen Anteil der im Meßbereich liegenden Schwerhörigen reduziert) ergeben sich die Werte: .85, .85, .89, .88, .80, .83, .70 und .68. Ein klareres Bild schafft die Konstanz-Betrachtung über die Pegeldifferenzen P2-P1. Für die oben genannten fünf Lautheitsgrade und jede Testfrequenz wurde die Verteilung der P2-P1-Differenzen bestimmt. Die über die Lautheiten gemittelten P2- P1-Differenzen-Verteilungen sind mit Mittelwerten nahe 0 gut normalverteilt und haben für die acht Testfrequenzen folgende Standardabweichungen: 4.45, 4.90, 3.69, 4.21, 3.93, 4.11, 3.68 und 3.89 dB. Zur Beschreibung der asymmetrischen Verteilung der Absolutbeträge der P2-P1-Differenzen wurde der Median (hier: wahrscheinlicher Fehlerbetrag) gewählt. Abbildung 4 zeigt ihn frequenz- und lautheitsabhängig. Bei sehr leise und leise liegen die Werte etwas höher als bei mittel, laut und sehr laut. Eine Frequenzabhängigkeit ist kaum erkennbar. Das Gesamtmittel der Differenzbetragsmediane liegt bei nur 3.02 dB.

	Hörschwelle	sehr leise 5	leise 15	mittel 25	laut 35	sehr laut 45	Mittel
250 Hz	2.00 (64)	4.41 (64)	3.89 (64)	3.06 (63)	3.21 (60)	2.73 (23)	3.46
500 Hz	2.00 (64)	3.92 (64)	3.36 (64)	3.26 (61)	3.14 (59)	2.65 (29)	3.27
1000 Hz	2.00 (64)	4.12 (64)	2.99 (64)	2.20 (63)	2.15 (58)	1.75 (34)	2.64
2000 Hz	2.00 (64)	3.71 (64)	3.07 (64)	2.49 (64)	2.70 (57)	2.01 (30)	2.80
3000 Hz	2.00 (62)	4.37 (62)	2.92 (62)	2.64 (61)	3.23 (54)	1.89 (22)	3.01
4000 Hz	2.00 (64)	3.62 (64)	3.13 (64)	2.37 (60)	3.73 (51)	1.85 (20)	2.94
6000 Hz	3.00 (64)	3.81 (64)	3.27 (61)	2.88 (54)	2.02 (35)	2.39 (13)	2.87
8000 Hz	5.00 (62)	5.13 (61)	3.46 (55)	3.36 (46)	2.27 (26)	1.73 (11)	3.19
	Mittel	4.14	3.26	2.78	2.81	2.13	3.02

Tabelle 10: Mediane der P2-P1-Differenzbeträge (dB), in Klammern Fallzahl.

II - 10.3 Sensitivität des Verfahrens

Frequenzabstandsabhängige Interkorrelation der Hörverluste: Soll die Hörfeldaudiometrie sensitiv für frequenzspezifische Hörverluste sein, müssen Hörverluste bei ähnlichen Frequenzen stärker korreliert sein als bei unähnlichen. Die Daten der Reliabilitätsstichprobe (Verlust über beide Messungen gemittelt) zeigen deutlich diese Abhängigkeit der Verlustkorrelation vom Frequenzabstand. Der Schallpegel für leise-15 bei 4 kHz korreliert mit den gleich lauten Pegeln der acht Testfrequenzen zu .41, .54, .59, .76, .82, 1, .75 und .68.

Validierung durch Isophonenaudiometrie: Aus den Hörfeldaudiometrieergebnissen lassen sich über die Testfrequenzen zu beliebigen Lautheiten Pegelsätze gleicher Lautheit berechnen (Isophonen).

Die aus den Normlautheitsfunktionen berechneten Isophonen zeigen große Formähnlichkeit mit den von Robinson & Dadson (1956) mitgeteilten Kurven. Müller & Fichtl (in diesem Band) konnten bei KU- Isophonen und Pegelsätzen, auf die im Einfachreaktionsversuch gleich schnell reagiert wird (Isochronen), weitgehende Übereinstimmung feststellen (normalhörige Pbn). Um zu prüfen, wie treu die gleich-laut-Relation bei Hörverlustvarianz in der Hörfeldaudiometrie abgebildet wird, wurde eine Stichprobe aus 37 weitgehend Normalhörigen und

17 vorwiegend sensorineural Schwerhörigen hörfeld- und isophonaudiometrisch untersucht (Schallwandler AKG K 1000). Zur Isophonenbestimmung (.25, 1, 4 kHz) wurde eine adaptive Variante des Konstanzverfahrens (AKV) angewandt. Verglichen wurden die Frequenzpaare .25-1 kHz und 1-4 kHz, wobei jede Frequenz des Paares als pegelfixer Standard (St) sowie als pegelvariabler Vergleich (Vg) zum Einsatz kam.

Der St wurde bei etwa einem Viertel der Pbn auf mittel-25, bei den übrigen auf leise-15 gesetzt (Pegel aus vorheriger Hörfeldaudiometrie bekannt). St und Vg wurden in den Abfolgen St-Vg-St- Vg und Vg-St-Vg-St geboten. Der Pb stufte die Darbietungen 2/4 im Vergleich zu 1/3 als lauter, gleich oder leiser ein. Die Vg-Reihe wurde mit einem deutlich lauteren (absteigend) oder deutlich leiseren Geräusch (aufsteigend) begonnen, dann solange in 12-dB-Stufen erhöht bzw. erniedrigt, bis die gegenteilige Einstufung erfolgte. Die Vg-Änderungsrichtung kehrte sich um, und der Gleich-Bereich wurde in 6-dB-Schritten durchlaufen, schließlich in 3-dB-Schritten bei nochmaliger Änderungsumkehr. Das Mittel aus den beiden Gleich-Bereichs-Rand-Pegeln des letzten Durchlaufs stellt den Schätzer des isophonen Pegels. Die sich für die beiden Frequenzpaare je Pb ergebenden acht Pegelabstandswerte (auf-, absteigende Reihe; St-Vg-Folge; St-, Vg-Frequenz) wurden gemittelt. Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Differenzen der im AKV gewonnenen und der hörfeldaudiometrisch bestimmten Pegelabstände für das Paar 1 kHz-250 Hz und 1 kHz-4 kHz. Die beiden Differenzverteilungen sind annähernd normal mit Mittelwerten nahe 0 und den Standardabweichungen 3.77 und 4.04 dB. Dies bedeutet hohe Übereinstimmung der beiden Verfahren zur Bestimmung isophoner Pegel. Veränderungen der Pegelabstände infolge von Hörverlusten werden in der hörfeldaudiometrischen Diagnose adäquat abgebildet.

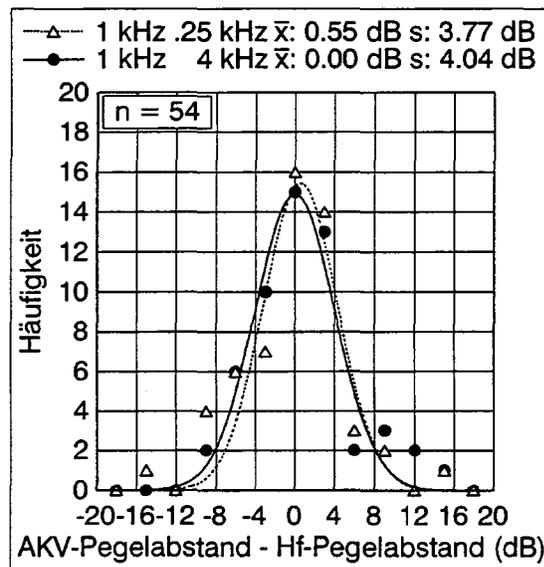


Abbildung 62: Verteilung der Differenzen zwischen im adaptiven Konstanzverfahren (AKV) bestimmtem und hörfeldaudiometrisch (Hf) bestimmtem Pegelabstand bei Gleichlautheit der verglichenen Frequenzen.

Schrifttum:

Hellbrück, J., Heller, O., Nowak, Th. (1981): Wie genau kann die Lautheitsempfindung bestimmt werden? Vortrag DAGA 1981, Berlin.

Heller, O. (1982): Theorie und Praxis des Verfahrens der Kategorienunterteilung (KU). In O. Heller (Hrsg.), Forschungsbericht 1981. Würzburg: Psychologisches Institut, Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie, S. 1-15.

Heller, O. (1985): Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienunterteilung (KU). Psychologische Beiträge 27, 509-519.

Müller, F., Fichtl, E. (1994): Kategorien-Unterteilungs-Isophonen und Isochronen der Lautheit. In diesem Band.

Pösselt, C., Schröter, J., Opitz, M., Divenyi, P.L., Blauert, J. (1988): Generation of Binaural Signals for Research and Home Entertainment. 12th Int. Conference on Acoustics, B1-6, Toronto 1988.

Robinson, D.W., Dadson, M.A. (1956): A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones. British Journal of Applied Physics, 7, 166-181.

II - 11 Hörfeldaudiometrische Lautheitsfunktionen normalhöriger Probanden

Michael Boretzki, Wolfram Knobloch, Elmar Fichtl, Armin Stock, Birgit May, Otto Heller
Psychologisches Institut, Universität Würzburg, Lehrstuhl III

II - 11.1 Skalierungstechnik

Die Hörfeldaudiometrie ist ein von Heller und Mitarbeitern (Heller 1982, 1985, 1991, Hellbrück & Moser 1985) entwickeltes audiometrisches Verfahren, das den Lautheitsverlust im überschwelligem Hörfeld - aufgespannt durch Frequenz und Schallpegel oder phänomenal: durch Tonhöhe und Lautheit - quantifiziert, um ein Gehör pegel- und frequenzspezifisch zu beschreiben. Der Proband (Pb) skaliert die Lautheit von schmalbandigen Geräuschen, die in Pegel und Frequenz das Hörfeld abdecken, anhand des Kategorienunterteilungsverfahrens (KU-Verfahren, Heller, 1985). Jedes Geräusch wird nach der ersten Darbietung als „sehr leise“, „leise“, „mittel“, „laut“ oder „sehr laut“ kategorisiert, nach der zweiten Darbietung in seiner Lautheit anhand derjenigen Zahl der jeder Kategorie zugeordneten Dekade eingestuft, die die Lautheitswahrnehmung am besten trifft. Die Zweistufigkeit des KU-Verfahrens bietet einerseits eine hohe Auflösung der Lautheitsdimension, berücksichtigt andererseits, daß ein ungeübter Pb nur eine geringe Zahl von Kategorien für erlebte Ausprägungen einer Eigenschaft überblicken kann. Das KU-Verfahren spiegelt in seinem Aufbau (Symmetrie, Äquidistanz der kategorialen Bereiche, Auflösung der Dimension) die Struktur des Bezugssystems wieder, als dessen Leistung die Fähigkeit zur absoluten Beschreibung einer Eigenschaft verstanden wird (Witte, 1960, 1966, 1975). Neben dieser Isomorphie des Beschreibungsinstruments und der zu beschreibenden Gegenstände - diese Forderung schließt ein, daß die Eigenschafts- (Lautheits-)ausprägungen, die auf der Skala stehen, auch tatsächlich geboten werden (s.u.) - sind zwei weitere Bestandteile der Meßvorschrift wesentliche Voraussetzungen für adäquate Wahrnehmungsbeschreibungen (Heller 1985): Der Pb muß über die Lautheitsmannigfaltigkeit orientiert sein, und er muß extraspektiv instruiert werden. Deshalb wird dem Pb zu Beginn der Hörfeldaudiometrie eine Reihe von Geräuschen geboten, die von „sehr leise“ bis „sehr laut“ variieren, anhand derer sich der Pb versichert, daß er mit Lautheitsausprägungen vertraut ist. Zudem fragt der Versuchsleiter (VL) bei den einzelnen Testgeräuschen danach, „wie laut das Geräusch ist“ (normalhöriger Pb) bzw. „wie laut der Pb das Geräusch hört“ (schwerhöriger Pb), nicht etwa, wie laut das Geräusch auf diesen wirke, oder wie laut dieser das Geräusch einschätze. Die Begriffe „wirken“ bzw. „einschätzen“ legen eine introspektive Haltung nahe. Der Pb soll aber beschreiben, nicht über Beschreibung oder Erleben reflektieren.

Die einleitende Lautheitsorientierung darf nicht als Training instruiert werden, in dem der Pb zu lernen habe, was im Versuch als laut und leise gelte. Würde der Pb so in die hörfeldaudiometrische Sitzung eingeführt, dann hätte die Orientierungsphase ihr Ziel völlig verfehlt. Sie würde im Gegenteil der Neuorientierung an der gebotenen Serie (Skalierungsartefakt bei Wahrnehmungsmessungen, s.u.) statt der Aktualisierung der Lautheitsgrade, die unser Gehör zwischen „eben hörbar“ und „schmerzhaft laut“ bietet, Vorschub leisten. Die erforderliche Versuchshaltung läßt sich herzustellen, wenn man den Pb vor der Darbietung der orientierenden Geräusche instruiert, daß er jetzt Gelegenheit erhalte, sich zu vergewissern, daß er sich mit „sehr leise“, „leise“, „mittel“, „laut“, „sehr laut“ auskenne.

Die Reihenfolge der Testgeräusche wird in Pegel und Frequenz so gewählt, daß die Lautheiten

und Tonhöhen in kurzen Zyklen den gesamten Bereich zwischen den Ausprägungsextremen überstreichen. Dies beugt während der Lautheitseinstufungen dem genannten Effekt vor, daß der Pb sich an einem artifiziellen Lautheitsausschnitt neuorientiert (Ausschnitt-Effekt, Parducci & Perrett 1971)), was eine Verzerrung der Lautheitseinstufungen zur Folge hätte. Der Ausschnitt-Effekt wird verstärkt, wenn eine Durchmischung der Frequenzen bei der Geräuschabfolge fehlt (Fichtl, 1996). Die Pegeluntergrenze für die Testgeräusche ergibt sich aus der Hörschwelle, die vor den Lautheitseinstufungen bestimmt wurde. Die Obergrenze ist beim normalhörenden Pb durch die Normlautheitsfunktionen (s.u.) gegeben. Beim schwerhörigen Pb gestaltet der VI die Pegelfolge adaptiv anhand der bisherigen Einstufungen, um einer Ausschnittorientierung zuvorzukommen.

Ziel der vorgeschlagenen Skalierungstechnik ist die monaurale Untersuchung eines einzelnen normal- oder schwerhörigen Pb auf Übereinstimmung bzw. Abweichung von der monauralen Normfunktion bei minimalem variablem (Reliabilitätskriterium) und systematischem Fehler (Validitätskriterium).

II - 11.2 Apparatur und Reproduzierbarkeit des Schallfelds

Die Testgeräusche (im 10%-Band mit einer Umschaltrate von 100/s stochastisch frequenzmodulierte Sinustöne (SFMS), Dauer: 1.5s, 100ms Ein- und Ausblendzeit) werden über einen offenen Kopfhörer (Jecklin Float Model 2 oder AKG K 1000) geboten, so daß die frequenzspezifischen Lautheitsfunktionen (Zusammenhang von wahrgenommener Lautheit und Schallpegel) monaural bestimmt werden können. Der Aufbau des Kopfhörers AKG K 1000 gestattet überdies die monaurale Lautheitsmessung mit Hörgerät. Bei deutlich asymmetrischem Gehör wird eine Variante des K 1000 verwendet, die contralateral eine geschlossene Kapsel aufweist. Die Entzerrungsfunktionen für beide Kopfhörer wurden anhand von Messungen des Gehöreingangsschallpegels bei Lautsprecher- und Kopfhörerdarbietung von weißem Rauschen an zwölf Pbn bestimmt.

Die Messungen an den zwölf Pbn ergaben, daß bei wiederholtem Aufsetzen des Kopfhörers der K 1000-Hörer frequenzabhängig ähnlich geringe intraindividuelle (auf einen Kopf bezogen) Schalldruckstreuungen aufweist wie die Lautsprecherbeschallung (um 0.5 dB zwischen 100 Hz und 4 kHz). Der Jecklin-Hörer zeigte höhere Intra-Streuungen (ca. 1.5 dB im genannten Frequenzbereich). Im Frequenzbereich über 4 kHz treten bei Kopfhörer- wie bei Lautsprecherbeschallung Intra-Pegel-Streuungen bis zu 4 dB am Gehörgangseingang auf. Ähnliche Relationen sind für die höheren frequenzabhängig erfaßten interindividuellen Streuungen der Gehöreingangsschallpegel festzustellen. Bis 4 kHz liegt der K 1000-Hörer gleichmäßig bei 1.5 dB, die Freifeldbeschallung zeigt bis 1 kHz etwas niedrigere Werte, weist aber um 2 kHz bis zu 4 dB Streuung auf. Knapp über 2 dB interindividuelle Streuung sind beim Jecklin-Hörer zu finden. Zwischen 4 und 10 kHz zeigt die Lautsprecher-Beschallung Inter-Streuungen bis zu 6 dB, der K 1000-Hörer bis zu 7 dB, liegt aber bis 6 kHz unter der Freifeld-Inter-Streuung. Beim Jecklin-Hörer erreichen die Streuungen 8 dB. Dies bedeutet, daß der K1000-Hörer die gleiche Schallfeldreproduzierbarkeit aufweist wie die Freifeldbeschallung. Im Bereich zwischen 1 und 5 kHz zeigt der K1000 sogar bessere Werte, da die interindividuelle Varianz der Schalldiffraktion am Kopf wegfällt. Der Jecklin-Hörer zeigt diesen Vorteil ebenfalls, streut aber interindividuell in den übrigen Frequenzbereichen etwas mehr als die Freifeldbeschallung.

Die hörfeldaudiometrische Untersuchung wird in einem schallarmen Raum durchgeführt. Die Terzpegel des akustischen Hintergrunds liegen im Meßbereich (100 Hz bis 10 kHz) zwischen 10 und 20 dB SPL.

II - 11.3 Gewinnung der monauralen Normlautheitsfunktionen

Auf der DAGA 1994 (Boretzki et al. 1994) berichteten wir über Reliabilität (Test-Retest-Messungen an normal- und schwerhörigen Pbn) und Validität des Verfahrens (Vergleich individuell im adaptiven Konstanzverfahren bestimmter Isophonen und hörfeldaudiometrisch ermittelter Isophonen zu den Lautheiten „leise“ und „mittel“). Der folgende Beitrag stellt die Ergebnisse von Untersuchungen dar, die zur Gewinnung von Normlautheitsfunktionen durchgeführt wurden.

Als Pbn arbeiteten 93 Studenten im Alter zwischen 18 und 25 Jahren mit. Ein Teil der Pbn (Stichprobe 1) hörte die Testgeräusche über den Jecklin-Hörer (14 Männer, 29 Frauen), ein Teil (Stichprobe 2) über den K 1000-Hörer (19 Männer, 31 Frauen). An der Stichprobe 1 wurden die 18 Testfrequenzen (Mittelfrequenzen der SFMS-Töne) .1, .16, .25, .35, .5, .71, 1, 1.4, 2, 2.45, 3, 3.45, 4, 4.9, 6, 7, 8 und 10 kHz untersucht. Bei Stichprobe 2 umfaßte der Geräuschsatz die zehn Frequenzen .1, .25, .5, 1, 2, 3, 4, 6, 8 und 10 kHz. Während bei Stichprobe 1 die je Frequenz fünf Schallpegel individuell zwischen der Hörschwelle und dem frequenzspezifischen Maximalpegel, der in Vorversuchen als „sehr laut“ ermittelt wurde, eingepaßt wurden, erhielten in Stichprobe 2 alle Pbn je Frequenz die gleichen Schallpegel. In beiden Stichproben deckte das Testgeräuschangebot den ganzen Lautheitsbereich zwischen „sehr leise“ und „sehr laut“ ab.

Die bei jedem Pb je Testfrequenz gemessene Hörschwelle diente als Kriterium, um Datensätze auszuschließen, denen ein beginnender Hörverlust zugrundeliegen könnte. Deutlich außerhalb der Verteilung liegende Hörschwellen fanden sich in 43 von 1274 Fällen (3.4%). Die zugehörigen Lautheitsdaten wurden eliminiert.

Um kollektive Lautheitsfunktionen zu gewinnen, wurde je Testfrequenz an die individuellen Lautheitsdaten je Stichprobe die von Nowak (1990) vorgeschlagene Funktion

$$L = A \cdot \{1 - e^{c \cdot [N^n - (S+N)^n]}\}$$

abweichungsquadratminimierend angepaßt (L: Lautheitseinstufung, A: Skalenfaktor, S: Signalintensität, N: effektive Hintergrundintensität, c und n: zwei weitere Konstanten, die die Steilheit der Funktion bestimmen; als S und N wurden die Vielfachen der Referenzintensität ein- bzw. angesetzt). Diese Funktion modelliert die Lautheitsdaten einer Untersuchung mit feingestuftem Pegelsatz (21 Pegel) deutlich besser als die bisher eingesetzte, ebenfalls von Nowak angegebene Fechner-Funktion $L = c \log(1 + S/R)$, die die Intensität eines maskierenden Rauschens berücksichtigt. (L: Lautheitseinstufung, c: Skalenfaktor, S: Signalintensität, R: effektive Hintergrundintensität). Da die untersuchten Lautheiten „sehr laut-45“ kaum überschreiten und somit der Parameter A, in den L bei extrem hohen Schalldrücken asymptotisch übergeht, nicht präzise bestimmt werden kann, setzten wir bei allen Anpassungen A auf den Wert 60, den Nowak als Totallänge für die 50stufige, oben offene KU-Skala empirisch ermittelte.

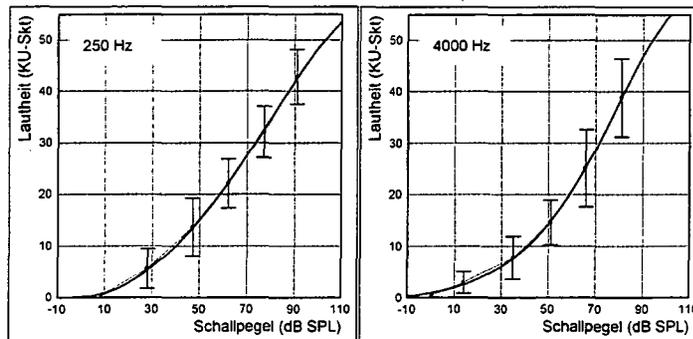


Abbildung 1: Kollektive Lautheitsfunktionen der Stichprobe 2 bei 250 und 4 kHz; kollektive Hörschwelle, kollektive Mittelwerte und Standardabweichungen der Lautheitseinstufungen, angepasste Nowak-Funktion.

Abbildung 1 zeigt als Beispiel die kollektiven Lautheitsfunktionen der Stichprobe 2 (interindividuell gleiche Schallpegel) zu den Frequenzen 250 und 4 kHz. Es ist ersichtlich, daß sich anhand der angepassten Funktion die Daten gut interpolieren lassen. Dies trifft auch für die nicht gezeigten kollektiven Funktionen der Stichprobe 1 mit interindividuell variablem Pegelsatz zu. Außerdem wird deutlich, daß die Streuungen der Lautheitseinstufungen mit zunehmender Frequenz steigen. Aus dem Funktionensatz jeder Stichprobe wurden die Isophonenscharen berechnet. Die Kurvenscharen stimmen weitgehend überein. Größere Abweichungen liegen bei 500 Hz und 10 kHz, außerdem bei sehr lauten Pegeln vor.

II - 11.4 Validierung

In den bisher vorliegenden Untersuchungen zur Lautheitsskalierung wird vor allem Wert auf die Reliabilität des Verfahrens gelegt, also die Frage nach dem variablen Fehler gestellt. Entscheidend ist jedoch die Frage: Wie unverzerrt bildet die Lautheitsskalierung das Hörvermögen des Pb ab (Frage nach systematischen Fehlern)? Ein Kriterium ist die Psychophysik des Phänomens „gleich laut“, das den im Konstanzverfahren bestimmten Isophonen zugrundeliegt. Führen die kategorialen Lautheitsbeschreibungen zu den gleichen Isophonen, wenn man zu gegebener Lautheit (z.B. sehr leise 5, leise 15 etc.) die isophonen Schallpegel für die einzelnen Testfrequenzen berechnet? Um dies zu prüfen, haben wir die Isophonenscharen beider Stichproben gemittelt (zuvor wurden die Pegelwerte der fehlenden Frequenzen in Stichprobe 2 interpoliert) und zeigen das Ergebnis im Vergleich mit den Isophonen, die Robinson & Dadson (1956) mit binaural gebotenen Sinustönen ermittelten, in Abbildung 2. Die für den gemittelten Isophonensatz berechneten Konstanten der Nowak-Funktionen enthält Tabelle 1. Die hörfeldaudiometrischen Isophonen weichen zwar vor allem oberhalb von 3 kHz von den „gleich-laut“-Isophonen ab und sind im „Sehr-laut“-Bereich deutlich flacher. Die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs tritt jedoch auch in der hörfeldaudiometrischen Isophonenschar klar in Erscheinung. Es bleibt überdies zu klären, worin die systematischen Unterschiede zwischen beiden Kurvenscharen ihre Ursache haben. Die Untersuchungen unterscheiden sich in Stichprobe, Testgeräuschen (SFMS vs. Sinus) und Darbietungsart (mon- vs. binaural). Wie zudem die Untersuchungen von Gabriel et al. (1995) zum Ausschnitteffekt beim Konstanzverfahren zeigen, dürfen die Isophonen von Robinson & Dadson nicht unkritisch als Referenz angesehen werden. Für die Normierung der Hörfeldaudiometrie läßt sich feststellen, daß Normalhörige 30 Phon als „sehr leise“, 55 Phon als „leise“, 70 Phon als „mittel“, 83 Phon als „laut“ und 96 Phon als „sehr laut“ wahrnehmen, wenn der Schall monaural geboten wird.

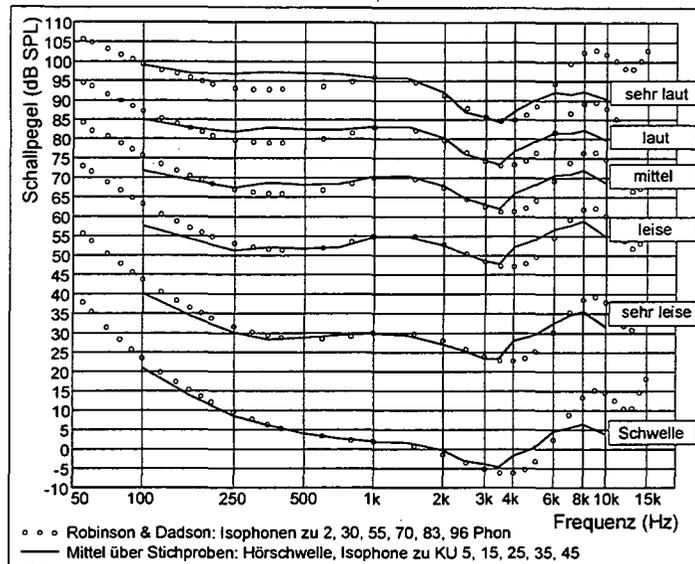


Abbildung 2: Hörfeldaudiometrisch monaural bestimmte Isophonen und Isophonen nach Robinson & Dadson (1956, binaural gebotene Sinustöne).

Tabelle 1: Konstanten c , n und $\text{dB}(N)=10 \log(N)$ der Nowak-Funktionen, die an die über die Stichproben gemittelten monauralen Isophonendaten (Hörschwelle, Isophonen KU 5.5, 10.5, 15.5 ... 50.5) mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate angepaßt wurden, Hörschwelle (HS).

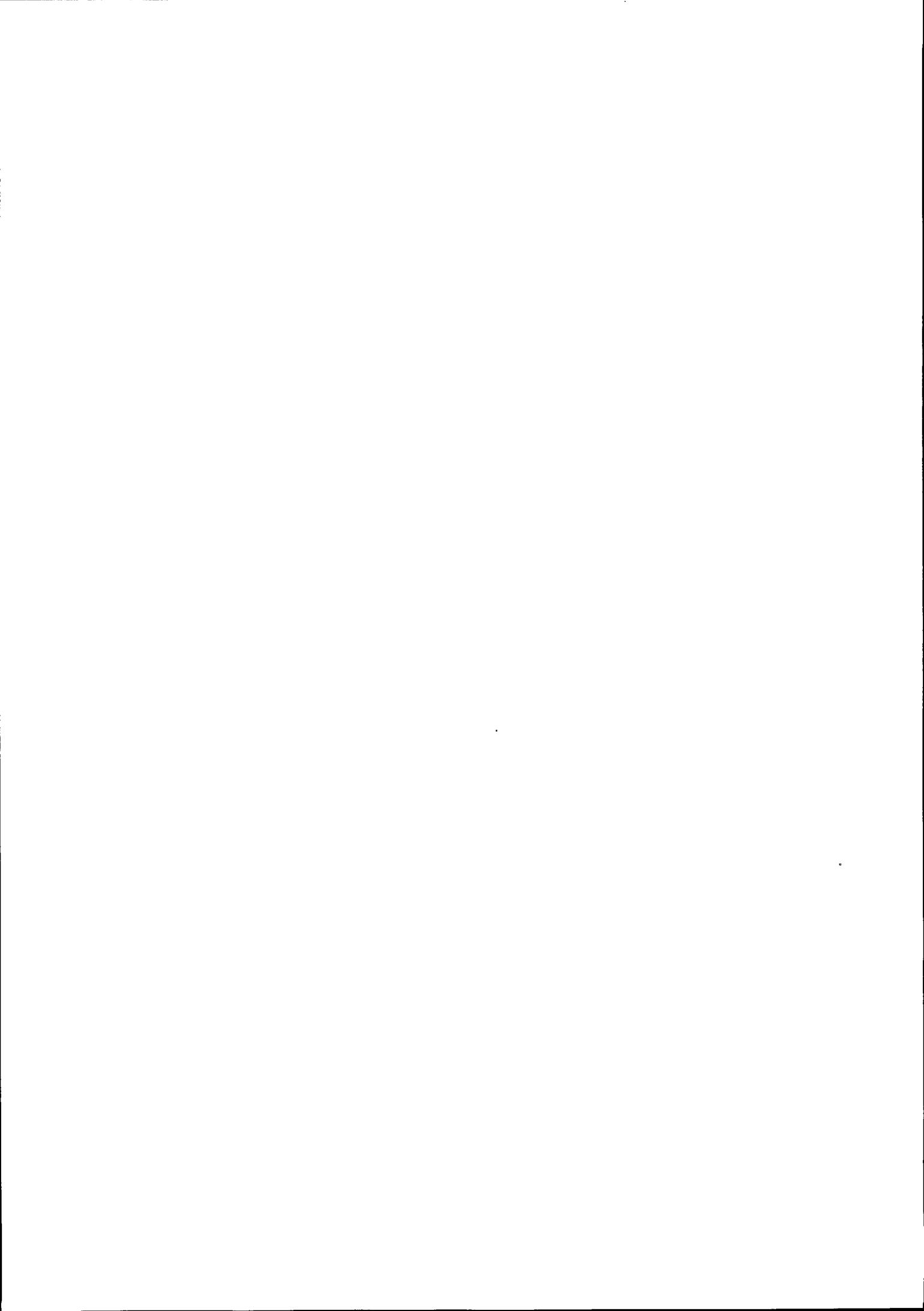
Freq kHz	c	n	$\text{dB}(N)$	HS dB	Freq kHz	c	n	$\text{dB}(N)$	HS dB
.1	0.11762	0.11629	28.253	21.01	2.45	0.04122	0.17758	-12.449	-3.07
.16	0.10159	0.12337	19.135	13.86	3	0.04598	0.17489	-13.250	-3.90
.25	0.11979	0.11607	13.544	8.50	3.45	0.04662	0.17683	-12.817	-4.67
.35	0.08766	0.12753	6.506	6.13	4	0.03354	0.18736	-12.222	-1.71
.5	0.09565	0.12448	8.473	4.00	4.9	0.03476	0.17959	-8.644	0.18
.71	0.09137	0.12687	9.260	2.74	6	0.02974	0.18289	-4.265	4.60
1	0.05149	0.15215	-0.548	1.91	7	0.02486	0.19243	-3.207	5.54
1.4	0.04862	0.15456	-2.914	1.69	8	0.02221	0.19616	-3.979	6.48
2	0.04730	0.16157	-6.747	-0.29	10	0.03326	0.18156	-1.873	3.99

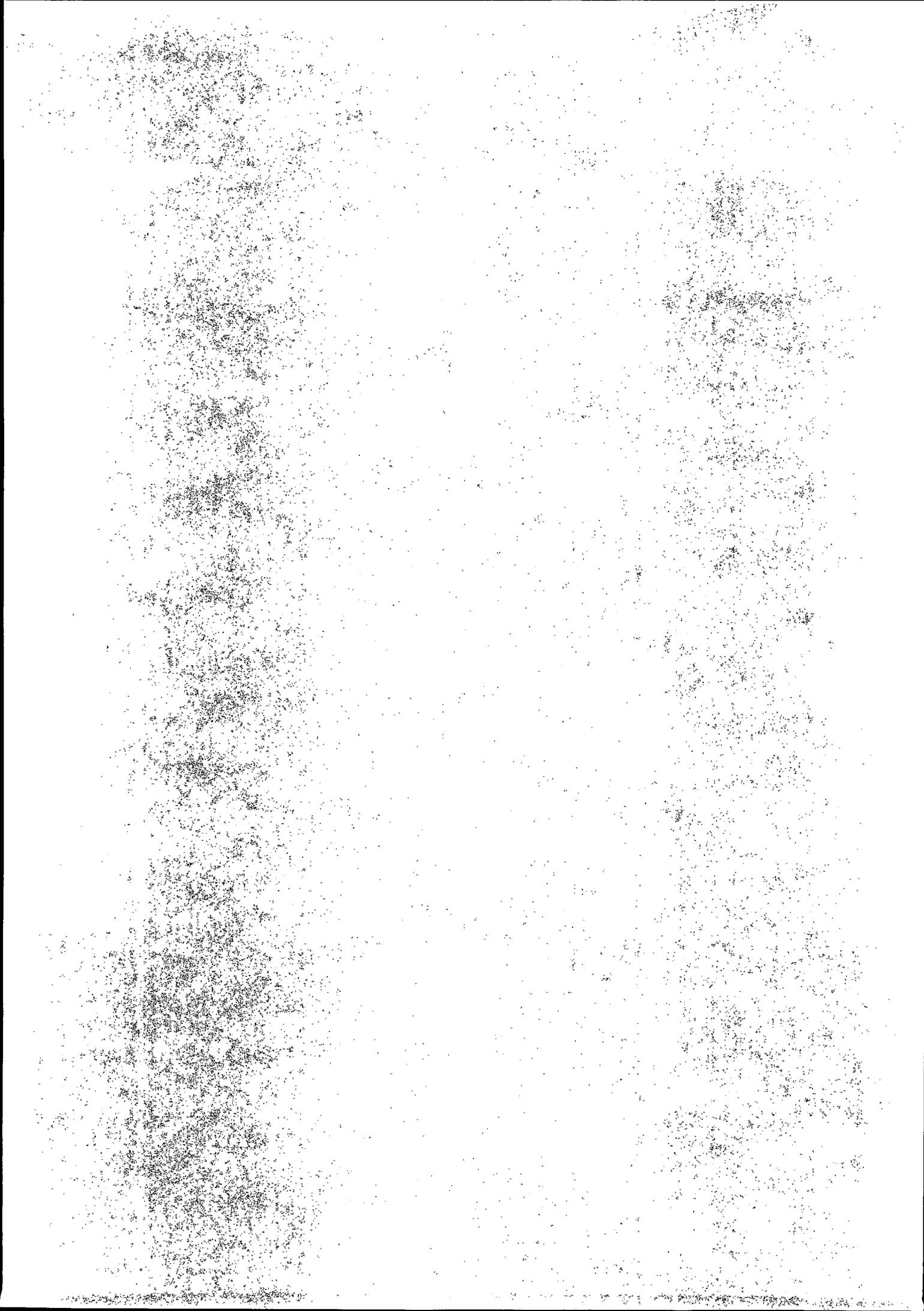
II - 11.5 Literatur:

Boretzki, M., Heller, O., Knoblach, W., Fichtl, E., Stock, A., Opitz, M. (1994): Untersuchungen zur Reliabilität und Sensitivität der Hörfeldaudiometrie. In: Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Fachbeiträge der 20. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik, DAGA 1994, Dresden.

Fichtl, E. (1996): Arbeitstitel: Urteilerfekte bei der Hörfeldaudiometrie. Inauguraldissertation, Universität Würzburg (in Vorbereitung).

- Gabriel, B., Kollmeier, B., Mellert, V. (1995): Kontexteffekte bei der Bestimmung der Kurven gleicher Pegellautstärke. In: Fortschritte der Akustik, 21. Deutsche Jahrestagung für Akustik, Kolloquien, Plenarvorträge und Fachbeiträge, DAGA 1995, Saarbrücken.
- Hellbrück, J., Moser, L. (1985): Hörgeräteaudiometrie: Ein computergestütztes psychologisches Verfahren zur Hörgeräteanpassung. *Psychologische Beiträge* 27, 494-508.
- Heller, O. (1982): Theorie und Praxis des Verfahrens der Kategorienunterteilung (KU). In: O. Heller (Hrsg.), *Forschungsbericht 1981*. Würzburg: Psychologisches Institut, Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie, S. 1-15.
- Heller, O. (1985): Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienunterteilung (KU). *Psychologische Beiträge* 27, 509-519.
- Heller, O. (1991): Orientated Category Scaling of Loudness and Speechaudiometric Validation. In: A. Schick, J. Hellbrück, R. Weber (Eds.): *Contributions to Psychological Acoustics V. Results fo the Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, S. 135-159.
- Nowak, T. (1990): Loudness scaling based on Fechner's idea. In: Müller, F. (Hrsg.), *Fechner Day 90, Proceedings of the Sixth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*. Würzburg, S. 140-145.
- Parducci, A., Perrett, L.F. (1971): Category rating scales: effects of relative spacing and frequency of stimulus values. *Journal of Experimental Psychology Monograph*, 89, 427-452.
- Robinson, D.W., Dadson, M.A. (1956): A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones. *British Journal of Applied Physics*, 7, 166-181.
- Witte, W. (1960): Experimentelle Untersuchungen von Bezugssystemen. I. Struktur, Dynamik und Genese von Bezugssystemen. *Psychologische Beiträge*, 4, 218-252.
- Witte, W. (1966): Das Problem der Bezugssysteme. In: K. Gottschadt, F. Sander, Ph. Lersch, H. Thomae (Hrsg.), *Handbuch der Psychologie in 12 Bänden, Bd. I 1, Erkennen und Wahrnehmen*. Göttingen, S. 1003-1027.
- Witte, W. (1975): Zum Gestalt- und Systemcharakter psychischer Bezugssysteme. In: S. Ertel, L. Kemmler, M. Stadler (Hrsg.), *Gestalttheorie in der modernen Psychologie*. Darmstadt: Steinkopff, S. 76-93.





Teil III: Sprachaudiometrie

III - 1	Kurzbeschreibung des theoretischen Ansatzes.....	1
III - 2	Abgrenzung des frequenzspezifischen Ansatzes vom Repräsentativitätskonzept.....	3
III - 3	Methodik der frequenzspezifischen Sprachaudiometrie.....	5
III - 3.1	Aufgabe der Pbn.....	9
III - 3.2	Validität.....	10
III - 3.2.1	Realisierung der Frequenzspezifität für Hochton-, Mittelton- und Tieftonbereich.....	10
III - 3.2.2	Zusammenhang zwischen Hörfeldaudiometrie und Sprachtest.....	19
III - 3.3	Reliabilität.....	22
III - 3.4	Störgeräusch.....	22
III - 3.5	Aufnahme und Bearbeitung des Sprachtestmaterials.....	23
III - 3.6	Signalrauschabstand.....	24
III - 3.7	Kalibrierung.....	25
III - 3.8	Technik.....	25
III - 3.9	Darbietung.....	25
III - 3.10	Testaufbau.....	26
III - 3.11	Auswertung.....	26
III - 4	Untersuchungen.....	27
III - 4.1	Hochtonspezifität.....	27
III - 4.1.1	Eliminierung der MTB-HTB-Wechselwirkung aus der /s/-Verständlichkeit.....	27
III - 4.1.2	Bedeutung der Konsonant-Vokal-Transienten im Sprachtest.....	38
III - 4.2	Reihenuntersuchungen zur Validität der Hochton- und Tieftonspezifität.....	43
III - 4.2.1	Mainfrankenmesse 1993.....	44
III - 4.2.2	Weitere Untersuchungen mit dem Audiomobil.....	55
III - 4.2.3	Fazit.....	59
III - 4.3	Mitteltonspezifität.....	59
III - 4.3.1	Relative Bedeutung von Mittelton- und Hochtonbereich bei der Erkennung des Frikativ /s/.....	59
III - 4.3.2	Diskrimination zwischen den stimmhaften Plosiven /b/ und /d/.....	67
III - 4.4	Untersuchungen zur Reliabilität des Sprachtestverfahrens.....	83
III - 4.4.1	Methode.....	83
III - 4.4.2	Reliabilität.....	86
III - 5	Literaturverzeichnis.....	90
III - 6	Anhang A - Apparatur.....	99
III - 6.1	AD/DA-Wandler und ATARI-Computer.....	99
III - 6.2	AKG K1000 und K1000-Amplifier.....	100
III - 6.3	Visaton Nahfeldmonitor NF400.....	100
III - 7	Anhang B - Software.....	100
III - 7.1	Sample-Editor zur Aufnahme, Analyse und Bearbeitung von Geräuschen.....	100
III - 7.2	Programm zur Spektrogrammanzeige und Umrechnung der Pegel in Lautheit.....	102
III - 7.3	Programm zur Darbietung der Sprachverständlichkeitstests.....	102
III - 7.4	Hörfeldaudiometrieprogramm.....	103

III - 1 Kurzbeschreibung des theoretischen Ansatzes

Die Sprachtestentwicklung verfolgte einen Ansatz, der sich stark vom allgemein üblichen Repräsentativitätskonzept unterscheidet. Anstelle einer mehr oder weniger differenzierten Aussage über die Fähigkeit des Patienten Alltagssprache zu verstehen, wird das Ausmaß des Hörverlustes in drei Frequenzbereichen (Tief-, Mittel- und Hochtonbereich) mit Hilfe von Sprachmaterial quantifiziert. Zusätzlich zur entsprechenden Information durch die tonaudiometrische Hörschwellen- bzw. Hörfeldbestimmung wird dabei festgestellt, wie laut frequenzspezifisch eng umgrenztes Sprachmaterial sein muß, um vom Patienten als solches erkannt zu werden und mit den Sprachelementen, bei denen weniger Hörverlust wirksam ist, zu einer einheitlichen internen Repräsentation von Sprache integriert zu werden. Dieses Testkonzept ist notwendig, um bei der Rehabilitation des Gehörs die frequenzspezifische Verstärkungscharakteristik der Hörhilfe so einzustellen, daß der gesamte für die Sprachverständlichkeit notwendige Frequenzbereich ausgewogen repräsentiert ist. Dies ist Grundvoraussetzung dafür, daß Konsonanten und Vokale wieder in der richtigen Lautheitsrelation zueinander gehört werden. Die notwendigen Informationen könnten zwar indirekt auch aus den individuellen frequenzspezifischen Lautheitsfunktionen der Hörfeldaudiometrie erschlossen werden, dabei ist jedoch zu bedenken, daß die Fehlerstreuung der Lautheitsmetrik mit ca. 3 dB in einer Größenordnung liegt, die für die Spracherkennung entscheidend ist. Gängige Hörgeräte sind zudem nicht in der Lage, einen auch nur annähernd vollständigen Lautheitsausgleich zu realisieren. Dies wird umso schwieriger je unterschiedlicher die Steigungen der Lautheitsfunktionen bei verschiedenen Frequenzen voneinander abweichen. Es stellt sich demnach die Frage nach dem „sprachrelevanten Optimum“ eines unvollständigen Lautheitsausgleichs. Das bedeutet, daß eine individuelle frequenzspezifische Optimierung der Verstärkungscharakteristik mit dem Ziel einer Verbesserung der Sprachverständlichkeit am sichersten und schnellsten nur mit der direkten Messung von geeignetem Sprachmaterial möglich ist.

Das Hauptproblem eines derartigen Ansatzes besteht in der sehr hohen Redundanz der Sprache. Die Merkmale, die einen spezifischen Sprachlaut charakterisieren und zu seiner Identifizierung genutzt werden können, sind meist sowohl über die Frequenz als auch über die Zeit nicht an einer einzigen Stelle lokalisiert. Auch wenn zum Beispiel das zentrale Merkmal eines Frikativs /s/ dessen spektrales Energiemaximum bei einer Frequenz von 6-8 kHz ist, kann das /s/ bei Eliminierung dieser Information (durch einen Hörverlust oder eine Tiefpaßfilterung bei der Simulation von Schwerhörigkeit) anhand seiner Energieverteilung bei tieferen Frequenzen, seiner für Frikative charakteristischen Zeitstruktur und den spezifischen Formanttransitionen im Tief- und Mitteltonbereich der davor- und/oder dahinterliegenden Vokale erkannt werden.

Die zentrale Aufgabe der Sprachtestentwicklung in diesem Projekt bestand deshalb darin, Sprachmaterial mit möglichst geringer Redundanz auszuwählen bzw. herzustellen und die Aufgabe der Probanden im Test so zu gestalten, daß das Testergebnis im Sinne der Hörfähigkeit im angezielten Frequenzbereich interpretiert werden kann. Einflüsse auf die Phonemer-

kennung von Merkmalen in anderen Frequenzbereichen müssen eliminiert oder kontrolliert als zusätzliche Informationsquelle genutzt werden.

III - 2 Abgrenzung des frequenzspezifischen Ansatzes vom Repräsentativitätskonzept

Das Repräsentativitätskonzept, dessen prominentester deutscher Vertreter der Freiburger Sprachtest (HAHLBROCK, 1970) ist, versucht das Testmaterial so zu gestalten, daß es repräsentativ für die Alltagssprache ist. Gelingt dies, dann kann von den individuellen Testergebnissen direkt auf die Fähigkeit des Patienten zum Verstehen von Sprache im Alltag generalisiert werden. Da es aus testökonomischen Gründen nicht möglich ist, alle relevanten linguistischen Aspekte der Sprache zu berücksichtigen, wird meist nur auf phonetische/phonologische Ausbalanciertheit des Materials geachtet. Das heißt, die Auftretenshäufigkeit der einzelnen Phoneme im Test soll weitgehend der Häufigkeit entsprechen mit der sie in der untersuchten Sprache vorkommen. Um die Auftretenshäufigkeiten der einzelnen Phoneme einigermaßen valide schätzen zu können, müssen umfangreiche Korpora zur Auszählung herangezogen werden. Außer der rein numerischen Auszählung muß vor allem die relative Bedeutung einzelner Wörter bzw. Wortgruppen für die Verständlichkeit berücksichtigt werden, um keine unangemessenen Verzerrungen der Verteilung zu erhalten. So teilt SENDLMEIER (1993) z.B. mit, daß 66 Wörter, die nach der Kaeding-Zählung (1891-1897) die häufigsten Wörter des Deutschen sind, „in dem Gesamtkorpus von ca. 11 Millionen Wörtern 50 Prozent des fließenden Textes ausmachen“ und „... daß die drei häufigsten Wörter ‘die’, ‘der’, ‘und’ allein schon 9,27% der Wörter des Gesamttextes bilden.“ (SENDLMEIER, 1993, S. 37). Auch die Berücksichtigung der Häufigkeit von Phonemkombinationen ist von zentraler Bedeutung, da die Einzellaute aufgrund der Koartikulation je nach Lautkontext deutlich unterschiedliche spektrale Merkmale aufweisen können. Dies wird am deutlichsten, wenn man die Plosiv-Vokal-Transitionen bei ein und demselben Plosiv, aber unterschiedlichen nachfolgenden Vokalen betrachtet (vgl. Abbildung 1).

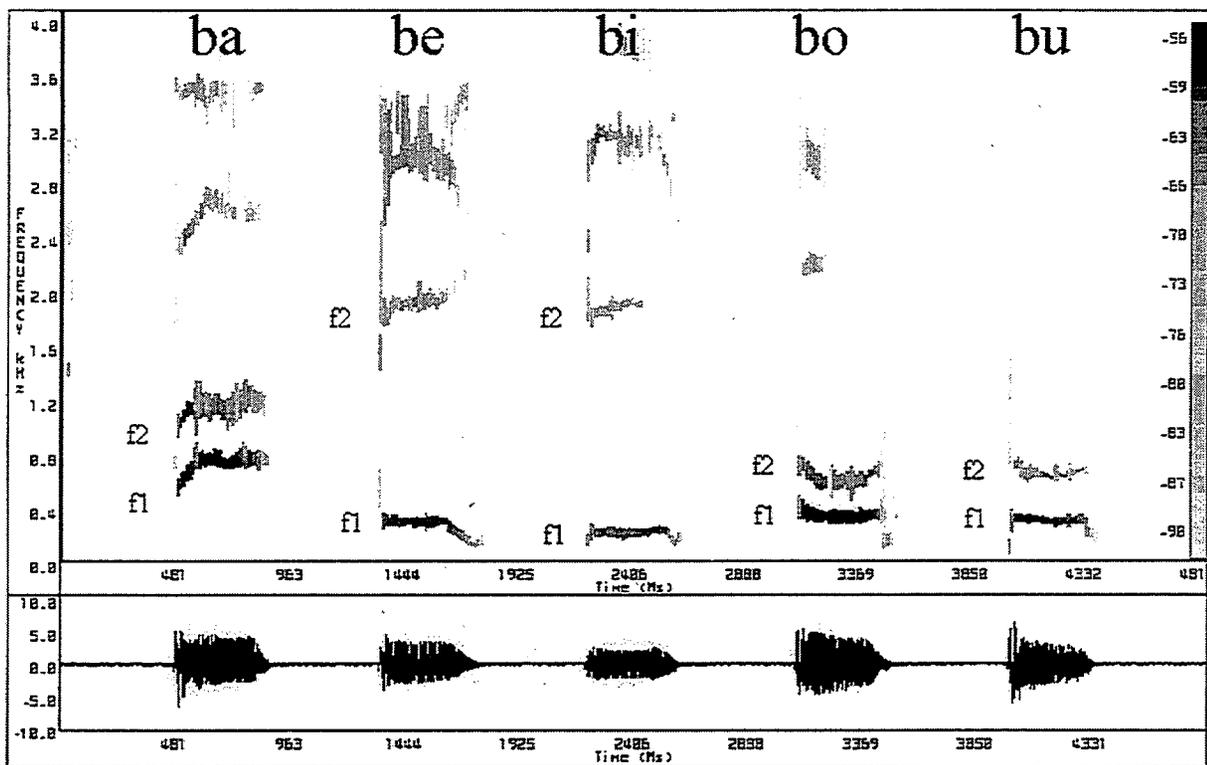


Abbildung 1: LPC-Analyse (oben) und Wellenformen (unten) der Formanttransitionen für die Plosiv-Vokal-Kombinationen *ba*, *be*, *bi*, *bo* und *bu* (erster und zweiter Formant sind durch *f1* bzw. *f2* markiert).

Ein weiteres gewichtiges Problem besteht in der Frage, ob das Material angesichts der verwendeten Korpora letztlich für geschriebene oder gesprochene Sprache repräsentativ ist. Möchte man die Phonemverteilung für gesprochene Sprache repräsentativ gestalten, müßte auch die individuelle Sprachumgebung wie z.B. der Dialekt einer Region berücksichtigt werden. Dies ist jedoch aufgrund des methodischen Aufwands für eine Standardisierung völlig ausgeschlossen.

Der merkmalsorientierte Ansatz, der bisher vor allem in Frankreich verfolgt wurde (LAFON, 1964, oder DUPRET, 1980), geht dagegen von den spektralen Charakteristiken von Phonemkombinationen aus, die gezielt zu einer Überprüfung und Rehabilitation des individuellen frequenzspezifischen Hörverlusts genutzt werden können. Dabei wird kein Gewicht auf eine Repräsentation der Alltagssprache gelegt, sondern es werden Phoneme geprüft, von denen man weiß, daß ihre zentralen spektralen Merkmale bei entsprechender Schwerhörigkeit nicht oder nur sehr schlecht erkannt werden können. Bei Hochtonschwerhörigkeit stellt zum Beispiel die Erkennung von Frikativen und deren Abgrenzung untereinander ein schwerwiegendes Problem dar. Dies wird besonders deutlich, wenn keine Kontextinformation genutzt werden kann, um den gesprochenen Frikativ korrekt zu identifizieren, wie das bei Familiennamen der Fall ist. Ob der Gesprächspartner zum Beispiel „Fiedler“ oder „Siedler“ heißt, wird nur dann erkannt, wenn man die spektrale Differenz zwischen /s/ und /f/ diskriminieren kann.

Mit diesem Ansatz ist zwar keine allgemeine Aussage über die individuelle Verständlichkeit von Alltagssprache möglich, aber man gewinnt einen Überblick darüber, in welchem Fre-

quenzbereich Probleme auftreten und kann den Erfolg der Rehabilitation unmittelbar überprüfen. Mit geeignetem Sprachmaterial lassen sich mit Hilfe dieses Konzeptes auch Aspekte des zeitlichen Auflösungsvermögens untersuchen.

III - 3 Methodik der frequenzspezifischen Sprachaudiometrie

Die methodischen Probleme der Sprachaudiometrie und der Lösungsansatz sind in HELLER (1990, 1992) und KNOBLACH (1990, 1992) vorgestellt und diskutiert worden. Die wichtigsten Gedanken sollen hier noch einmal aufgegriffen und um Überlegungen zur peripheren auditiven Repräsentation von Sprache (KNOBLACH, 1996) erweitert werden.

Betrachtet man die technischen Möglichkeiten bei der Rehabilitation von Schwerhörigkeit, liegt eine psychophysikalisch orientierte Sprachverständlichkeitsforschung sehr nahe. Hörgeräte stellen im wesentlichen mehr oder weniger komplizierte Verstärker dar. In mehreren Frequenzbereichen (üblich: 1 bis 3) können unterschiedliche Verstärkungskennlinien realisiert werden. Die Verstärkungscharakteristik kann rein linear sein (konstante Verstärkung bei allen Schallpegeln), einer Begrenzungskompression entsprechen (konstante Verstärkung bis zu einem vorwählbaren Schallpegel, danach zunehmend weniger Verstärkung) oder einer linearen Kompression über einen großen Pegelbereich (lineare Abnahme der Verstärkung mit zunehmendem Eingangsschallpegel). Dies stellt nur einen winzigen Ausschnitt aller Möglichkeiten und eine grobe Vereinfachung der Prinzipien dar, zeigt aber das Wesentliche der Arbeitsweise eines Hörgeräts: Veränderung der frequenzabhängigen Schallpegel der Eingangssignale mit unterschiedlicher Charakteristik. Die akustischen Ereignisse werden verändert, **bevor** sie das geschädigte Gehör erreichen, es handelt sich demnach um eine rein physikalisch orientierte Veränderung der Reizgrundlage. Idealerweise sollte diese Veränderung invers zum vorliegenden Hörverlust erfolgen, so daß im Gehör letztlich wieder eine "richtige" auditive Repräsentation (korrespondierende mentale Repräsentation der akustischen Ereignisse) vorliegt. Die Arbeitsweise eines Hörgeräts fordert geradezu den psychophysikalischen Zugang als einen Weg zur Erforschung der veränderten auditiven Wahrnehmung bei Schwerhörigkeit. Er ist zwar hauptsächlich auf periphere Phänomene eingeschränkt, hat aber den Vorteil, Erkenntnisse für eine Optimierung der technischen Rehabilitation zu liefern.

Die Untersuchung der Sprachverständlichkeit mit der psychophysikalischen Methodik baut auf einem Stufenmodell der auditiven Verarbeitung im Gehör auf. Diese Modellvorstellung ist in Abbildung 2 skizziert. Ausgehend vom Reiz, der mit physikalischen Parametern wie Frequenz, Amplitude und Zeitverlauf beschrieben wird, werden zwei wesentliche mentale Repräsentationen unterschieden. An erster Stelle steht die auditive Repräsentation, die ein Abbild der peripheren diskreten psychoakustischen Merkmale darstellt und am ehesten mit dem Begriff Hören beschrieben werden kann. Die auditive Repräsentation wird durch das individuelle Hörvermögen, also die Leistungsfähigkeit der mechanisch-excitatorischen Transformation (Schalleitung im Mittelohr, Kodierung in neurale Erregung in der Cochlea), bestimmt. Die Güte von Diskriminationsleistungen, also die Unterscheidung mehrerer ähnlicher Reize voneinander, ist von der Güte der auditiven Repräsentationen abhängig. Auf der Basis der audi-

ven Repräsentation kann anschließend durch Segmentierung und Interpretation unter Einbeziehung des aktuellen Kontexts eine phonetisch-linguistische Repräsentation aufgebaut werden, die mit dem Begriff Verstehen am besten beschrieben wird. Diese Leistung besteht vor allem in der Identifikation einzelner Elemente beziehungsweise ganzer Strukturen. Diese zweite Stufe ist selbstverständlich nur eine grobe Umschreibung der komplexen mehrstufigen Prozesse, die der Aufbau einer phonetisch-linguistischen Repräsentation erfordert. In der Literatur wird in phonetische, phonologische, syntaktische und semantische Verarbeitung getrennt, die sowohl seriell als auch parallel ablaufen können (Studdert-Kennedy, 1976). Für den psychophysikalischen Zugang ist die vereinfachte Darstellung der zweiten Verarbeitungsstufe zunächst ausreichend. Sawusch (1977) geht ebenfalls davon aus, daß es Merkmalsdetektoren gibt, die direkt auf unterschiedliche Frequenzmuster ansprechen und nachgeschaltet eine eher unspezifische zentrale Analyse stattfindet. Auch Blumstein & Stevens (1979) stimmen mit diesem Schema überein.

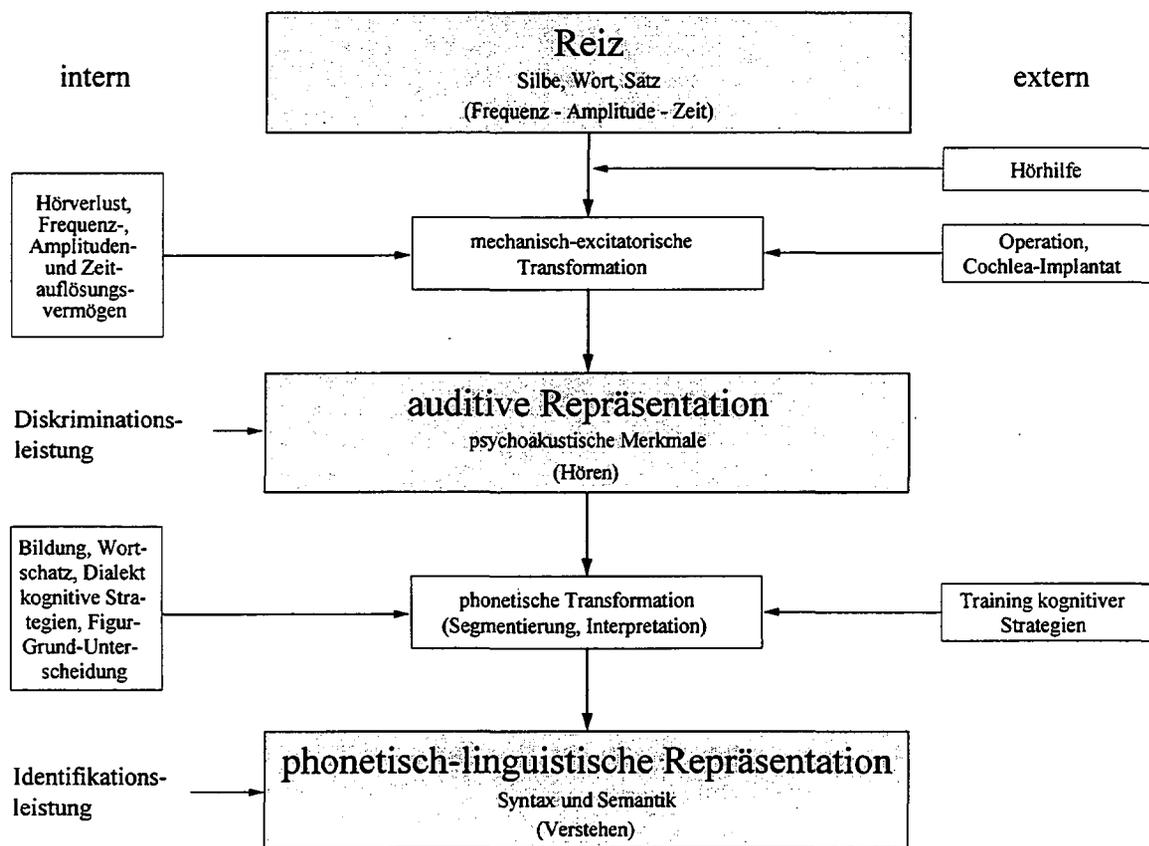


Abbildung 2: Schema des Verarbeitungsweges akustischer Reize beim Sprachverstehen und darauf wirksame Einflußgrößen.

Das Schema ist in den Verarbeitungsweg (Mitte) und in auf diesen einwirkende Faktoren aufgeteilt. Betrachtet man die möglichen Interventionen, die zur Verbesserung des Sprachverstehens eingesetzt werden können, und deren Position innerhalb des Verarbeitungsweges, dann wird die Notwendigkeit der Entwicklung geeigneter Meßverfahren zur Bestimmung der Güte

auditiver Repräsentationen beim Schwerhörigen verständlich. Nur wenn man die Zusammenhänge zwischen physikalischer Veränderung des Eingangsschalls durch eine technische Hörhilfe und den daraus resultierenden Veränderungen der auditiven Repräsentationen aufklärt, kann man eine gezielte Optimierung der Sprachverständlichkeit erreichen. Hat man eine optimale Korrektur beim individuellen Patienten erreicht, kann über ein Hörtraining gezielt Einfluß auf die weitere Verarbeitung der reduzierten auditiven Repräsentationen genommen werden.

Dies bedeutet, daß es zwei Arten von Sprachverständlichkeitstests geben muß: a) Tests die eine Abbildung peripherer Sensitivitätsverluste und ihrer Rehabilitation erlauben und b) Tests zur Kontrolle und Optimierung von kognitiven Strategien zum Sprachverstehen in schwierigen Hörsituationen. Im Rahmen des Projekts wurden die Möglichkeiten für eine reliable und valide Messung peripherer Sensitivitätsverluste untersucht.

Nach einer Analyse der verschiedenen Sprachtestansätze in den USA, Großbritannien, den Niederlanden und Deutschland seit 1926 kommt BOSMAN (1992) unter anderem zu folgenden Schlußfolgerungen: Testart (Silben-, Wort- oder Satztest) und Methode müssen in Abhängigkeit des jeweiligen Untersuchungsziels gewählt werden. Für eine analytische Untersuchung z.B. von Übertragungskanälen (Telefon, etc.) sollten Listen mit gleicher Phonemverteilung und ein geschlossenes Set von Antwortalternativen verwendet werden. Für die Bewertung von Hörverlusten dagegen, sind Wörter oder Silben (Konsonant-Vokal-Konsonant) mit möglichst niedriger Redundanz vorzuziehen. Nachdem im Alltag vor allem die Sprachverständlichkeit bei gleichzeitigem Störgeräusch eine wichtige Rolle spielt, und nur eine geringe Korrelation zwischen Sprachtestergebnissen in Ruhe und bei Störgeräusch besteht, ist es ratsam, sowohl Messungen in Ruhe als auch bei Störgeräusch vorzunehmen.

Diese Schlußfolgerungen lassen einen großen Spielraum bei der Testkonstruktion. Entscheidend ist jedoch die Zweckgebundenheit für die Wahl der Methode. ROSEN und FOURCIN (1986) kritisieren, daß viele Autoren versuchen über einen korrelativen Ansatz Zusammenhänge zwischen äußerst differenziert erhobenen psychoakustischen Testergebnissen (z.B. Messungen der Frequenzselektivität) und sehr globalen Sprachverständlichkeitsparametern festzustellen. Diese sind meist sehr enttäuscht, daß ihre Bemühungen nicht besonders erfolgreich sind. ROSEN und FOURCIN schreiben: "*The psychoacoustical biases of the experimenters involved in this work are readily apparent. Usually only the grossest measures of speech perception are used, with no attempt to relate the extensive psychoacoustical results to the acoustic structure of the speech sounds used. Typically, these incorporate such a wide range of acoustic features that such a task would be fruitless anyway. Stelmachowicz et al. (1985), for example, determined psychoacoustic tuning curves at 2 kHz and extracted five distinct summary measures from the results. These were correlated with 'speech perception ability' in broadband and low-pass noise, measured by determining the signal- to-noise ratio necessary to attain 75% correct in the N.U. Auditory Test No. 6, a set of lists of consonant-vowel-consonant words. It surely cannot be right that one (albeit important) auditory ability at one particular frequency needs five parameters to describe it, but that 'speech perception' in noise of words encompassing the total range of voicing, place and manner contrasts possible in*

English needs only one." (ROSEN & FOURCIN, 1986, S. 464). Gerade, wenn man einen psychoakustischen Zugang zur Messung der Sprachverständlichkeit realisieren will, muß man die Testkonstruktion sehr differenziert angehen und sich auf Sprachmerkmale konzentrieren, die für spezifische Hörverluste charakteristische Ergebnisse bringen.

Bei der Diagnose der individuellen Sprachverständlichkeit muß deshalb die Wahrnehmungsleistung des Gehörs in den Mittelpunkt der Diagnose gestellt werden. Dieser Ansatz unterscheidet sich in zwei grundlegenden Aspekten von der Mehrzahl der herkömmlichen Verfahren. Kognitive Fertigkeiten, die im Alltag eine wesentliche Rolle bei der sprachlichen Kommunikation spielen, sollen bei der Diagnostik der Sprachverständlichkeit so weit wie möglich ausgeschaltet werden. Für die Ermittlung einer optimalen Verstärkungsfunktion bei der Anpassung einer technischen Hörhilfe, stellen diese Störvariablen dar. Bei Patienten, die ausgefeilte kognitive Strategien entwickeln konnten, um ihr Verstehensdefizit im Alltag zu kompensieren, wird man mit einem diagnostischen Verfahren, welches diese zum Tragen kommen läßt, zu einer erheblichen Unterschätzung der notwendigen Verstärkung kommen. Man ermittelt lediglich eine minimal erforderliche Verstärkung, die den zu leistenden mentalen Aufwand und damit die Anstrengung, die mit der Anwendung derartiger Strategien verbunden ist, nur unwesentlich vermindert. Eine optimale Anpassung einer Hörhilfe muß aber auch die kognitive Belastung des Patienten minimieren. Der zweite Aspekt ist ebenfalls mit diesem Problem verbunden: Je mehr Faktoren Einfluß auf das Testergebnis nehmen können, umso weniger wird es möglich sein, aus dem Testergebnis **spezifische** Maßnahmen für eine Optimierung der Hörhilfeneinstellung abzuleiten.

Diese kognitiven Faktoren haben auf der einen Seite einen eher passiven Aspekt, der auf zurückliegenden Erfahrungen beruht, wie z.B. Bildung, Wortschatz, Dialekt, und auf der anderen Seite einen aktiven Aspekt, wie den der Einbeziehung des Kontexts bei der Analyse des dargebotenen Signals. Der Kontext reicht dabei von der Auswertung der Semantik und Syntax bei Satztests, über die Analyse und Einbeziehung des Testaufbaus bis zur Berücksichtigung der dem Patienten bekannten Hördefizite bei einer bestimmten Aufgabenstellung. Den ersten Fall kann man mit folgendem Beispiel verdeutlichen. Der Satz "Die Frau trinkt einen Saft" könnte von einem Hochtonschwerhörigen wie folgt gehört werden: "Die Frau trinkt einen Faft". Aus dem semantischen ("trinkt") und dem syntaktischen ("einen") Kontext wird das einzig plausible Wort ergänzt: "Saft". Bietet man diesen Satz bei unterschiedlichen absoluten Pegeln oder unterschiedlichen Signalrauschabständen dar, dann wird die Verstehensleistung unter Umständen deutlich von der eines Normalhörigen abweichen, aber für den tatsächlich vorliegenden Hörverlust zu gut ausfallen. Werden Satztests verwendet, versucht man diesen Kontexteinfluß durch die unterschiedliche Korrelation der Testwörter mit dem Gesamtsatz abzuschätzen. Ein derartiger Ansatz ist zum Beispiel von KALIKOW et al. (1977) mit dem Speech Perception In Noise (SPIN)-Test und dessen Adaptation ins Deutsche von TSCHOPP und INGOLD (1992) gewählt worden. Der zweite Fall ist noch etwas komplizierter gelagert. Läßt die Aufgabe des Tests dies zu, kann auch das Wissen um die Fehler, die der Proband im Alltag häufig macht, zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen. Hierzu ein Beispiel aus unserer eigenen Testerfahrung. In einer unserer Testversionen wurde ausschließlich die Diskrimination des Inlaut-/s/ gegen das Inlaut-/l/ geprüft. Zu diskriminierende Wortpaare waren

"Maser-Maler" und "Vasen-Walen". Ein Pb war in der Lage, diese Diskrimination in einem Signalrauschabstandsbereich zu leisten, in dem er dies nach den Resultaten der Hörfeldaudiometrie nicht mehr hätte können dürfen. Es stellte sich heraus, daß er in der Lage war, das /l/ eindeutig zu identifizieren, aber statt des /s/ eine Lücke innerhalb des Wortes hörte (Ma_er). Nachdem er in letzterem Fall z.B. die Alternative "Maler" eindeutig ausschließen konnte, antwortete er mit "Maser", obwohl er das /s/ selbst nicht hören konnte und sich damit gegen die Instruktion verhielt. Dies ist ein Hinweis dafür, daß Wortdiskriminationstests nicht per definitionem nur das periphere Hörvermögen testen, wie das z.B. von GHITZA (1993) angenommen wird. Diskriminationstests sind potentiell dazu in der Lage, dies zu leisten, aber dies wird nur dann der Fall sein, wenn die spezifische Durchführungsmethode andere, "zentralere" Faktoren ausschließt.

Bei der Konstruktion eines Sprachverständlichkeitstests müssen demnach Testmaterial und Aufgabe des Pb so gewählt und aufeinander abgestimmt werden, daß derartige Fehlerquellen minimiert werden.

Wenn man vom Stufenmodell der auditiven Verarbeitung ausgeht, das in Abbildung 2 (auf Seite 6) vorgestellt wurde, ergeben sich demnach - wie oben schon erwähnt - zwei Forderungen für einen Sprachverständlichkeitstest, der das periphere Hörvermögen abbilden soll: a) Die Aufgabe muß eine einfache Diskriminationsaufgabe sein und b) das Testmaterial muß so gewählt sein, daß die erfolgreiche bzw. fehlerhafte Diskrimination Rückschlüsse auf die Schädigung des Gehörs und den Grad der Rehabilitation zuläßt.

III - 3.1 Aufgabe der Pbn

Eine einfache Diskriminationsaufgabe, die kognitive Faktoren und Strategien weitgehend ausschließt, muß dem Pb maximale Sicherheit bei der Durchführung geben. Dies wird durch die Vorgabe von zwei Wortalternativen erreicht, die sich jeweils nur in einem für einen bestimmten Schwerhörigkeitstyp kritischen Phonem unterscheiden. Dies ist z.B. für einen Hochtonschwerhörigen die Diskrimination der stimmlosen Frikative /s/, /f/ oder /ʃ/. Die Alternativwörter können statt des zu testenden Frikativs ein anderes Phonem enthalten, wie z.B. bei den Paaren "Maser - Maler", "schieben - schießen" oder "lieben - schieben", oder statt des Frikativs kein Phonem, wie z.B. bei den Paaren "Feile - Eile" oder "Säule - Eule", oder als dritte Möglichkeit einen anderen Frikativlaut, wie z.B. bei "Saal -Schal" oder "Hafen - Hasen". Die Antwortform des Tests ist geschlossen, d.h. es können nur die vorgegebenen Alternativen gewählt werden. Damit die individuelle Diskriminationsschwelle das jeweils Gehörte möglichst gut abbildet, gibt es in der Regel als zusätzliche Antwortalternativen "nicht verstanden" (bzw. "????") und "kein Wort gehört". Auf diese Weise kann der Pb angeben, wann er nicht mehr genug Informationen hat, um das Gehörte einer der beiden Wortalternativen zuzuordnen und wann er keine Figur-Grundtrennung mehr leisten kann. Raten wird durch die Instruktion grundsätzlich ausgeschlossen und durch die vier Antwortmöglichkeiten auch nicht nahegelegt. Der Fall, daß ein Wort nicht verstanden wird, weil die Wortbedeutung dem Probanden nicht geläufig ist, wird durch die schriftliche Vorgabe der Wortpaare ausgeschlossen.

III - 3.2 Validität

Die Validität des frequenzspezifischen Sprachtests ist dann gegeben, wenn er Schwerhörigkeit quantitativ differenziert abbilden kann und die einzelnen Subtests den Verlust in verschiedenen Frequenzbereichen weitgehend unabhängig von den jeweils anderen Frequenzbereichen messen.

III - 3.2.1 Realisierung der Frequenzspezifität für Hochton-, Mittelton- und Tieftonbereich

Frequenzspezifität ist dann gegeben, wenn aus der Wahl einer der beiden Antwortalternativen bei unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden (absoluter Wortpegel oder Signalausgang) eindeutig auf das Hörvermögen des Probanden in einem definierten Frequenzbereich geschlossen werden kann. Die zur Diskrimination notwendige Information hängt stark von der spektral-zeitlichen Differenz zwischen den zu diskriminierenden Phonemen und den jeweils vorausgehenden und nachfolgenden Lauten ab. Ein eindeutiger Rückschluß auf das Hörvermögen im untersuchten Frequenzbereich ist nur dann möglich, wenn dort eine maximale spektrale Differenz zwischen den Alternativphonemen vorliegt, bei anderen Frequenzen (auch der umgebenden Laute) aber weitgehende Übereinstimmung gegeben ist.

Für die drei angestrebten Frequenzbereiche sind jeweils unterschiedliche Möglichkeiten und daraus resultierende Strategien gegeben, welche in den folgenden Abschnitten differenziert dargestellt werden.

III - 3.2.1.1 Hochtonbereich (ca. 3-10 kHz)

Für den Bereich oberhalb von 3 kHz bietet sich der stimmlose Frikativ /s/ als Prototyp eines hochfrequenten Phonems an. Spektrum und zeitliche Charakteristik des /s/ entsprechen einem Breitbandrauschen mit Energiemaxima zwischen 3 kHz und 8 kHz (vgl. Abbildung 3), in Abhängigkeit von den benachbarten Vokalen (Koartikulation). Für eine ideale Frequenzspezifität bietet sich an, den Frikativ /s/ in der Wortinitialposition zu plazieren und das Trägerwort so zu wählen, daß es auch ohne den Frikativanlaut ein sinnvolles Wort ergibt: z.B. *Säule - Eule, Saal - Aal, Seile - Eile, Sahne - Ahne*, etc. Auf diese Weise wird der maximal mögliche spektrale Kontrast im Hochtonbereich erzeugt. Es bleibt die Möglichkeit, daß ein Pb z.B. das Wort als Säule erkennt, da er anhand der tieffrequenten Energie des /s/ merkt, daß sich vor dem ersten Vokal noch ein Phonem befindet. In diesem Fall kann es sich nicht um Eule, sondern nur um Säule gehandelt haben. Um diese Möglichkeit auszuschließen, sollte der Frequenzbereich bis ca. 4 kHz durch ein Störgeräusch soweit verdeckt werden, daß die tieffrequente aber geringe Energie des /s/ verdeckt wird. Der Erfolg dieser Maßnahme kann geprüft werden, wenn z.B. in den oben aufgeführten Paare das /s/ durch ein /f/ ersetzt wird (*Fäule, fahl, Feile, Fahne*), und so Frikativ-Frikativ-Paare entstehen: "*Seile-Feile*", "*Säule-Fäule*", usw. So läßt sich prüfen, ob auch Frikative gegeneinander diskriminiert werden können, oder ob der Pb nur erkennt, daß ein beliebiger, nicht durch den Kontext erkennbarer Frikativ im Wort ist.

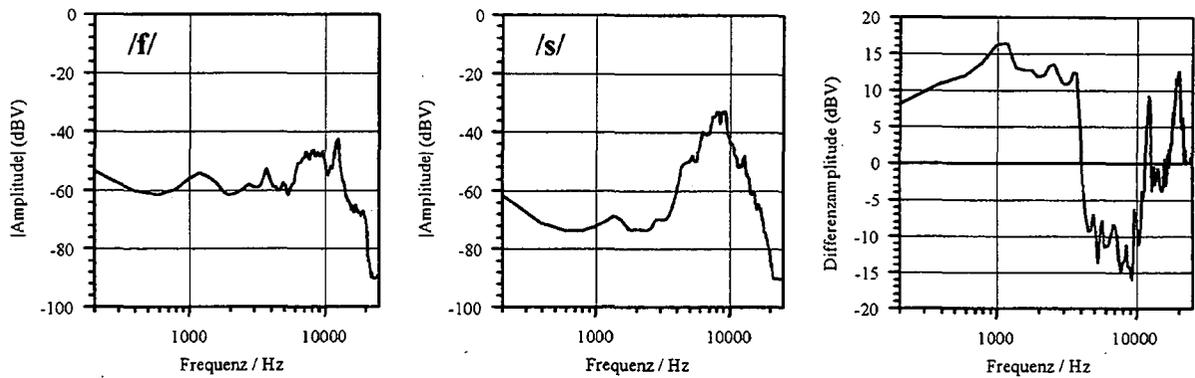


Abbildung 3. Vergleich der Spektren von /f/ (aus Faxen) und Anlaut-/s/ (aus Sachsen) und das Differenzspektrum zwischen beiden (mit /s/ als Referenz).

Auch der Frikativ /f/ weist ein ähnliches Breitbandspektrum wie das /s/ auf, wobei dessen Energiemaxima zwischen 7 kHz und 13 kHz liegen. Im Gegensatz zum Spektrum des /s/ ist die Energie im /f/-Spektrum gleichmäßiger über die Frequenz verteilt und hat mehr Energie im Frequenzbereich bis etwa 4 kHz (vgl. Abbildung 3). Betrachtet man die spektrale Differenz zwischen /s/ und /f/ in Abbildung 3, dann wird deutlich, daß eine Diskrimination zwischen beiden Phonemen nur anhand der spektralen Information oberhalb von 4 kHz geleistet werden kann. Die Artikulationsart ist gleich und kann deshalb nicht zur Unterscheidung herangezogen werden.

Eine weitere potentielle Informationsquelle für das Vorhandensein eines Frikativs stellen die Frikativ-Vokaltransitionen dar, die im Sinne der frequenzspezifischen Gehörsdiagnostik als Störfaktoren anzusehen sind, da sie die gleiche Information im tief- bis mittelfrequenten Frequenzbereich übertragen. Frikative haben zwar den großen Vorteil, daß sie keine ausgeprägten Formanttransitionen aufweisen, es ist aber prinzipiell nicht auszuschließen, daß eine Diskrimination gegen das Alternativwort auf deren Basis erfolgt, wenn das frikative Rauschband nicht erkannt wurde. Die digitale Technik eröffnet Möglichkeiten, diesen Einfluß zu kontrollieren. Dies soll am Wortpaar "Säule-Eule" demonstriert werden. Abbildung 4 zeigt in der obersten Reihe die akustischen Wellenformen (Amplitudenverlauf über die Zeit) der beiden Testwörter. Bis auf das /s/, das sich klar vom Vokal abgegrenzt, am Anfang von Säule befindet, verlaufen sie sehr ähnlich. Nur die Einschwingphase des **Eu** hat gegenüber dem **äu** einen steileren Amplitudenanstieg. Vergleicht man die zugehörigen Pegelspektrogramme, die sich zeitsynchronisiert unter den akustischen Wellenformen befinden, dann werden zwei Unterschiede augenfällig: das hochfrequente Rauschband des /s/ und ein unterschiedlicher Verlauf des zweiten Formanten (Transient). Bei Säule beginnt dieser bei ca. 1400 Hz und endet nach ca. 65 ms bei 900 Hz. Bei Eule beginnt er bei 950 Hz, bleibt für ca. 60 ms konstant auf dieser Frequenz, bevor er im Diphtongtransient / / in 140 ms auf 1800 Hz ansteigt. Der Diphtongtransient ist für beide Wörter gleich. Der Frikativ-Vokal-Transient des zweiten Formanten kann, wenn seine Wahrnehmbarkeit nicht auch durch die Hochtenschwerhörigkeit reduziert ist, die frequenzspezifische Interpretation der Frikativediskrimination beeinträchtigen. Der Fri-

kativ kann auch dann noch korrekt erkannt werden, wenn nur der Transient gehört und richtig interpretiert wird.

Die Auswertung der Formanttransitionen stellt einen wichtigen Faktor der Sprachwahrnehmung dar, wirkt für die frequenzspezifische Interpretation aber als Störfaktor. Um trotzdem eine frequenzspezifische Interpretation der Diskriminationsschwelle zu ermöglichen, muß die Verbesserung der Diskriminationsleistung, die vom Transienten abhängig ist, quantitativ erfaßt werden. Dies wird durch eine zusätzliche, künstlich erzeugte Wortbedingung erreicht. Dazu wird in einem Sampleeditor (digital) der Frikativ des entsprechenden Testworts (z.B. /s/ aus Säule ausgeschnitten und vor das frikativlose Alternativwort Eule plaziert. Um den Glottalstop und die steile Einschwingphase des /ɔy/ als potentielle Störfaktoren auszuschließen, wird mit einem über jeden einzelnen Abtastwert gleitenden 10-ms-Fenster die Hüllkurve des **äu** auf die Hüllkurve des **Eu** übertragen¹. Das Ergebnis ist das Testwort SEule, das unter optimalen Bedingungen (deutlich überschwelliges /s/) auditiv nicht von Säule unterschieden werden kann. Der Transient des zweiten Formanten kann unter schwierigeren akustischen Bedingungen jedoch nicht zur Diskrimination des Frikativs herangezogen werden, da er ja dem Verlauf eines frikativlosen Eule entspricht. Der Frikativ kann nur dann erkannt werden, wenn das hochfrequente Rauschband überschwellig ist. Die so zusammengesetzten Testwörter werden im folgenden als **S-künstlich** bezeichnet, die unveränderten Originalwörter als **S-natürlich**.

¹ In einer ersten Version der künstlich zusammengesetzten S-Wörter wurde, unabhängig vom Testwort, immer dasselbe /s/ vorangestellt. Dieses war aus dem Wort Saal ausgeschnitten worden, welches selbst nicht als Testwort verwendet wurde. Dadurch sollte verhindert werden, daß eventuell im Konsonanten enthaltene spezifische Transienten als Unterscheidungsmerkmale verwendet werden können. Diese Anordnung wurde später zu Gunsten der oben geschilderten aufgegeben, da letztere für Schwerhörige einen natürlicheren Klang hatte.

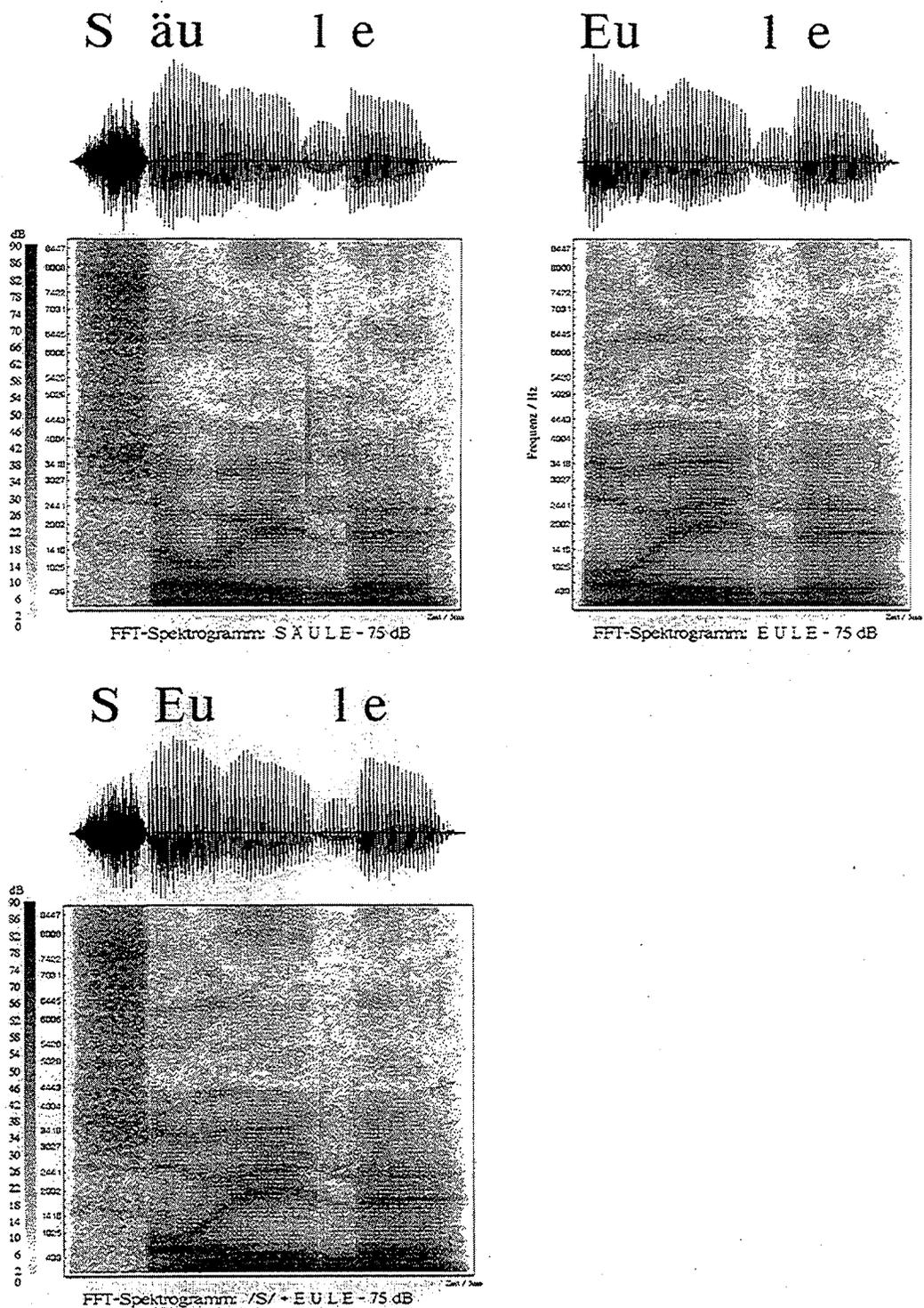


Abbildung 4: Erläuterung der Konstruktion der Wortbedingung S-künstlich anhand des Testwortpaars "Säule-Eule". In der obersten Reihe sind die akustischen Wellenformen (Abszisse: Zeit, Ordinate: Amplitude (linear)) der aufgesprochenen Wörter Säule und Eule abgebildet. Unter jedem Wort befindet sich das zugehörige Pegelspektrogramm (Abszisse: Zeit (5ms), Ordinate: Frequenz (Hz), Schwärzung: Amplitude (dB)). In den unteren beiden Reihen sind die akustische Wellenform und das Pegelspektrogramm des künstlich gebildeten Wortes SEule abgebildet. Dazu wurde das /s/ aus Säule digital im Computer ausgeschnitten und vor das Wort Eule plaziert. Der Diphtong /oy/ aus Eule wurde anschließend mit der Hüllkurve des /oy/ aus Säule versehen (Zeitfenster: 10 ms). Für die Analyse wurde die Samplerate von 50 kHz auf 25 kHz konvertiert (Aufnahme mit $\Delta t=20 \mu s$, Tiefpaßfilterung über Fastfaltung mit einer Grenzfrequenz von 10 kHz und Konvertierung der Abstrate auf $\Delta t=40 \mu s$).

Die Verbesserung der Frikativdiskrimination durch den Frikativ-Vokaltransient wurde von STOCK, KNOBLACH & HELLER (1994) für Normalhörige bei weißem Rauschen als Störgeräusch bestimmt. Dazu wurden jeweils 50 ms bzw. 100 ms des Vokalbeginns zwischen den S-natürlich- und den S-künstlich-Wörtern ausgetauscht. Die Diskriminationsschwelle der S-natürlich-Wörter lag, unter diesen Versuchsbedingungen, bei einem Signalrauschabstand, der ca. 6 dB ungünstiger lag als bei den S-künstlich-Wörtern. Die Vertauschung des Vokalbeginns führte auch zu einer Vertauschung des Effekts. Wörter, die eine Frikativ-Vokaltransition besitzen, werden um ca. 6 dB SR besser verstanden, als diejenigen, die diese nicht haben.

Bei einer Untersuchung von 303 Pbn im Audiomobil hat sich jedoch gezeigt, daß unabhängig von der (dekadischen) Altersgruppe zwischen den Verständlichkeitsschwellen (SRT) bei S-natürlich und S-künstlich eine Differenz von 5 - 7 dB SR besteht. Da die Hochtonverluste mit zunehmendem Alter immer größer werden, wäre eine zunehmende Bedeutung und Nutzung der Frikativ-Vokaltransitionen in den Gruppen 60-69 Jahre und 70-81 Jahre zu erwarten und damit eine höhere Differenz zwischen den SRTs bei S-natürlich und S-künstlich. Der fehlende Zusammenhang ist bei dieser Untersuchung auf die Verwendung von weißem Rauschen als Störgeräusch zurückzuführen. Bei ungünstiger werdendem Signalrauschabstand verdeckt das weiße Rauschen zuerst den Frikativ. Die Frikativ-Vokaltransitionen werden erst dann verdeckt, wenn die Wörter um weitere 5-8 dB leiser dargeboten werden. Das bedeutet aber auch, daß schon Personen mit normalem Gehör von der Nutzung der Transitionen profitieren können. Liegt ein Hörverlust bei hohen Frequenzen vor, ohne daß die Hörfähigkeit bei tiefen Frequenzen beeinträchtigt ist, muß sich die Differenz zwischen den SRTs bei S-natürlich und S-künstlich vergrößern. In den meisten Fällen beginnt ein Hochtonabfall aber schon bei niedrigeren Frequenzen, was zu einer Verschiebung sowohl der S-natürlich-SRT als auch der S-künstlich-SRT führt, ohne daß der Abstand zwischen beiden nennenswert zunähme. Ein weiteres Problem besteht darin, daß ein gewisser Prozentsatz der Probanden deutlich schlechtere SRTs für S-künstlich zeigt, als dies bei ihrem Gehör zu erwarten wäre. Der Extremfall sind diejenigen Probanden, die unabhängig vom Hörverlust, keines der S-künstlich-Wörter als S-Wort gehört haben. Fragt man die Pbn danach, was sie in diesen Fällen hören, geben sie an, daß sie zwar ein Zischen kurz vor dem Wort hören, dieses aber dem Rauschen zuordnen und nicht als dem Wort zugehörig wahrnehmen. Die Prozentsätze je Altersgruppe, die diese fehlende Integration zeigen, liegt zwischen 2,6% und 35,7%, wobei eine Tendenz zur Zunahme mit dem Alter zu beobachten ist. Es ist demnach nicht völlig auszuschließen, daß mit zunehmendem Alter und zunehmenden Hörverlusten die Transitionen eine immer größere Rolle spielen, dies in der gewählten Testanordnung aber nicht in den SRTs deutlich wird.

Die Auswertung der Frikativ-Vokaltransitionen wurde vorübergehend auch mit S-Wörtern geprüft, bei denen das /s/ vom Wortbeginn entfernt wurde. Nutzt ein Proband die Transitionen als Hinweis auf das Vorhandensein eines /s/, müßte er bei entsprechend schwierigem Signalrauschabstand ein derartiges Wort als S-Wort hören. Dies ist bei simulierter Hochtonschwerhörigkeit (Tiefpaßfilter mit einer Eckfrequenz von 2 kHz und einer Flankensteilheit von ca. 30 dB/Oktave) und den ersten untersuchten schwerhörigen Pbn auch wie erwartet eingetroffen, über eine größere Anzahl von schwerhörigen Pbn wurde jedoch deutlich, daß diese Bedingung nicht geeignet ist, da manche Personen nicht wußten, wie sie die entsprechenden

Items beantworten sollten. Sie hörten die Wörter relativ unsystematisch einmal als S-Wort, ein anderes Mal als Wort ohne S-Anlaut und ab und zu kreuzten sie die Fragezeichen an. Items, die einen hohen Grad an Unsicherheit bei den Pbn hervorrufen, können die Präzision der Messung insgesamt gefährden. Aus diesem Grund wurde in den weiteren Testversionen auf diese Wortgruppe verzichtet.

Unsere neuesten Analysen haben gezeigt, daß für einige Wörter die S-Vokaltransitionen nicht spezifisch für den Frikativ sind, sondern fast exakt mit denjenigen der D-Vokaltransition übereinstimmen, und sich ein sehr scharfer Übergang von /s/ nach /d/ ergibt: z.B. *Siebe* - *Diebe*, *sank* - *Dank*. Abbildung 5 zeigt die Übereinstimmung der Formanten (LPC-Analyse) der beiden Wörter *Siebe* (links) und *Diebe* (rechts). In diesen Fällen muß zwar gegen ein Alternativphonem diskriminiert werden, aber die maximale spektrale Differenz entspricht in etwa derjenigen bei der Diskrimination gegen kein Phonem. Lediglich die Aufgabe für den Probanden wird noch einmal deutlich erleichtert. Dies kann in zukünftigen Testversionen berücksichtigt werden, da hiermit eine eindeutig hochfrequenzspezifische Wortbedingung gegeben ist, ohne die Integrationsprobleme, wie sie mit der S-künstlich Bedingung aufgetreten sind.

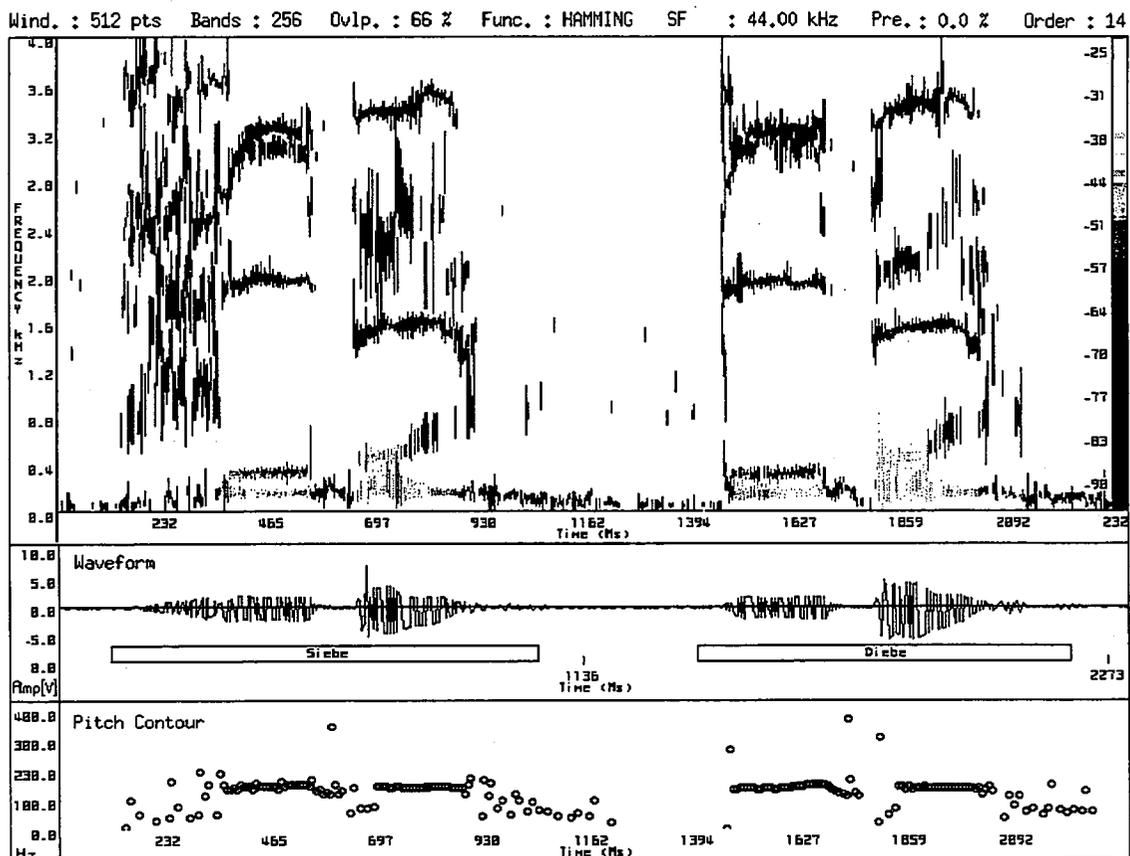


Abbildung 5: LPC-Formantanalyse für die beiden Wörter *Siebe* (links) und *Diebe* (rechts) im oberen Diagramm. Das mittlere Diagramm zeigt die Wellenform und das untere Diagramm den Grundfrequenzverlauf der beiden Wörter. (Die Analyse erfolgte mit dem Programm CSRE 4.5; die gewählten Parameter sind oben in der Abbildung mitgeteilt)

III - 3.2.1.2 Mitteltonbereich (ca. 1-3 kHz)

Für die Erweiterung des Konzepts auf den Mitteltonbereich wurden zwei verschiedene Strategien angewandt. Zum einen wurde die Diskrimination der stimmhaften Plosive /b/ und /d/ daraufhin untersucht, ob sie geeignet sind, Informationen über den Frequenzbereich von 1-3 kHz zu gewinnen. Nach TOWNSEND (1983) hat /b/ die meiste Energie zwischen 500 Hz und 1500 Hz, wobei /d/ Energieschwerpunkte in der Nähe von 500 Hz und oberhalb von 4000 Hz aufweist. DUBNO, DIRKS & ELLISON (1989) untersuchten den Effekt von Tiefpaßfilterung und Hochpaßfilterung mit jeweils verschiedenen Eckfrequenzen auf die Verständlichkeit der stimmhaften Plosive /b,d,g/ bei Normalhörigen und Hochtonschwerhörigen. Dabei zeigte sich für Normalhörige, daß die Verständlichkeit bei Tiefpaßfilterung nur dann über 50% ansteigt, wenn die Eckfrequenz oberhalb von 1 kHz liegt. Bei Hochpaßfilterung werden nur dann Verständlichkeiten über 50% erzielt, wenn die Eckfrequenz unterhalb von 3 kHz liegt. Bei Hochtonschwerhörigen gilt der gleiche Verlauf, allerdings bei einem niedrigeren allgemeinen Verständlichkeitsniveau. Über den Beitrag der verschiedenen akustischen Merkmale der stimmhaften Plosive (Spektrum und Dauer des Burst, Startfrequenz vor allem des ersten Formanten und seine Bewegungsrichtung) sind sich verschiedene Autoren nicht einig. Während LIBERMAN (1967) vor allem die Transition des zweiten Formanten als zentrales Merkmal betrachtet ("probably the single most important carrier of linguistic information in the speech signal", S. 434), haben BLUMSTEIN und STEVENS (1979, 1980) Hinweise dafür gefunden, daß im Moment der Burstentstehung eindeutige invariante akustische Hinweise im Spektrum gegeben sind, die eine Wahrnehmung des Artikulationsortes ermöglichen. Es stellte sich also zum einen die Aufgabe, zu testen, ob eine /b/-/d/-Diskrimination beim Normalhörigen unter unseren Testbedingungen zu steilen und eindeutigen Übergangsfunktionen der Verständlichkeit führt und zum zweiten die relative Bedeutung von Burst und Formanttransitionen für unsere Testwörter festzustellen. Wir stellten bei diesen Untersuchungen fest, daß die Hauptinformationsquelle tatsächlich die Plosiv-Vokaltransitionen sind und nur bei einem Wortpaar auch ein Beitrag des Burst ermittelt werden konnte. Die Übergangsfunktionen für die /b/-/d/-Diskrimination erstrecken sich für fast alle getesteten Wortpaare über einen sehr großen Signalausgangsbereich (bis zu 22 dB) und bei einigen Paaren war überhaupt keine Übergangsfunktion angebar, da über den gesamten Bereich eine konstant hohe Anzahl Verwechslungen vorlag. Nur ein Wortpaar (*Banken - Danken*) erfüllte die Bedingungen Eindeutigkeit der Diskrimination und steiler Übergang von 0% zu 100% Verständlichkeit bei Normalhörigen. In einer parallelen Untersuchung wurde die /b/-/d/-Diskrimination mit den Wortpaaren *Bank-Dank*, *Bohle-Dohle*, *Becken-Decken* und *Bienen-Dienen* bei 70 dB Stimmengewirr bei 7 Normalhörigen getestet. In dieser Untersuchung wurden alle Wörter mit /b/-Anlaut zu einem hohen Prozentsatz verwechselt oder mit Fragezeichen beantwortet. Bei den Wörtern mit /d/-Anlaut ist nur bei *Dienen* eine ausreichend steile mittlere Übergangsfunktion (12 dB SR zwischen 0% und 100% Erkennung) ohne Verwechslungen und Fragezeichen gegeben. *Dienen* hat jedoch bei der Prüfung der relativen Bedeutung von Burst und Plosiv-Vokaltransitionen mit am schlechtesten abgeschnitten. Hier wäre noch eine größere Reihe von Wortpaaren zu testen, um herauszufinden, ob es genügend potentiell geeignete Items gibt, damit sich eine Untersuchung der Mitteltonspezifität mit Hilfe von simulierter Schwerhörigkeit und einer großen Anzahl von Schwerhörigen lohnt.

Die zweite Strategie bestand darin, die charakteristischen Merkmale "hochfrequentes Rauschband" beim Frikativ und "tief- bis mittelfrequente Formanttransitionen" der Plosive gegeneinander zu stellen, und zu prüfen, welche relative Amplitude der beiden Frequenzbereich zur Wahrnehmung des einen oder des anderen Phonems führt. Aus dieser Matrix kann dann auf das Hörvermögen in diesen Frequenzbereichen geschlossen werden. Auch dieser Ansatz hat sich nicht bewährt. Der notwendige Zeitaufwand, um eine ausreichende Zahl an Amplitudenrelationen zu testen, ist viel zu hoch, um den Test routinemäßig einzusetzen. Außerdem zeigte eine spätere sorgfältige Betrachtung der Einzelergebnisse, daß auch hier nicht eindeutig zuordenbare Wahrnehmungen vorkommen können. In einem je Pbn unterschiedlich breiten Bereich kann die Wahrnehmung zwischen /s/ und /d/ bzw. zwischen /s/ und /b/ hin und herspringen. Breite und damit wenig aussagekräftige Übergangsbereiche konnten je nach Hörverlustgruppe bei bis zu 25% der schwerhörigen Pbn beobachtet werden. Eine spätere genaue Untersuchung bei Normalhörigen ergab, daß teilweise sowohl /s/ als auch /b/ oder /d/ gleichzeitig gehört wurden. Also statt *leider* oder *leiser* entsprechend *leisder* oder *leidser*. Somit ist auch dieser Ansatz nicht für die Diagnostik zu verwenden.

Aufgrund des Scheiterns beider Strategien konzentrierten wir uns im weiteren Projektverlauf darauf, den Mitteltonbereich über die individuelle Nutzung der Formanttransitionen bei der Frikativwahrnehmung zu erschließen. Das heißt, es wird gemessen, inwieweit ein Hochtonabfall auch das Hören bei tiefen und mittleren Frequenzen schon beeinträchtigt. Eine unabhängige Messung des Mitteltonbereichs bei intaktem Tief- und Hochtonbereich ist vorläufig nicht möglich.

III - 3.2.1.3 Tieftonbereich (bis ca. 1.5 kHz)

Nach Townsend (1983) muß für die korrekte Diskrimination eines Vokals nur der Frequenzbereich bis 2 kHz oder 3 kHz wahrgenommen werden. Je nach Zusammenstellung der Wortpaare für die Vokaldiskrimination kann man den notwendigen Frequenzbereich auf 1.5 kHz bis 2 kHz begrenzen. Die folgende Abbildung 6 zeigt LPC-Analysen der entscheidenden Vokale für die von uns meist zur Vokaldiskrimination eingesetzten Wortpaare *Eile - Eule*, *Eier - euer*, *Ahne - ohne* und *warte - Worte*. Die energiereichen, für die Diskrimination entscheidenden Formanten F1 und F2 liegen für alle Wortpaare unterhalb von 1.5 kHz. Bei den Wortpaaren *Ahne - ohne* und *warte - Worte* könnte auch der dritte Formant als Informationsquelle genutzt werden. Knoblach (1996) konnte mit der sogenannten Lautheitsspektrographie (siehe nächsten Abschnitt) bei sieben Hochtonschwerhörigen zeigen, daß an der individuellen Vokaldiskriminationsschwelle jeweils F1, F2 und F3 etwa gleichermaßen überschwellig sind. D.h. ein Einfluß des Hörvermögens bei 2-3 kHz und ein Beitrag des dritten Formanten zur Vokaldiskrimination ist theoretisch nicht auszuschließen. Im ungünstigsten Fall wäre die Vokaldiskrimination der beiden Wortpaare *Ahne - ohne* und *warte - Worte* nicht alleine für den Tieftonbereich spezifisch, sondern schlosse den Mitteltonbereich noch mit ein.

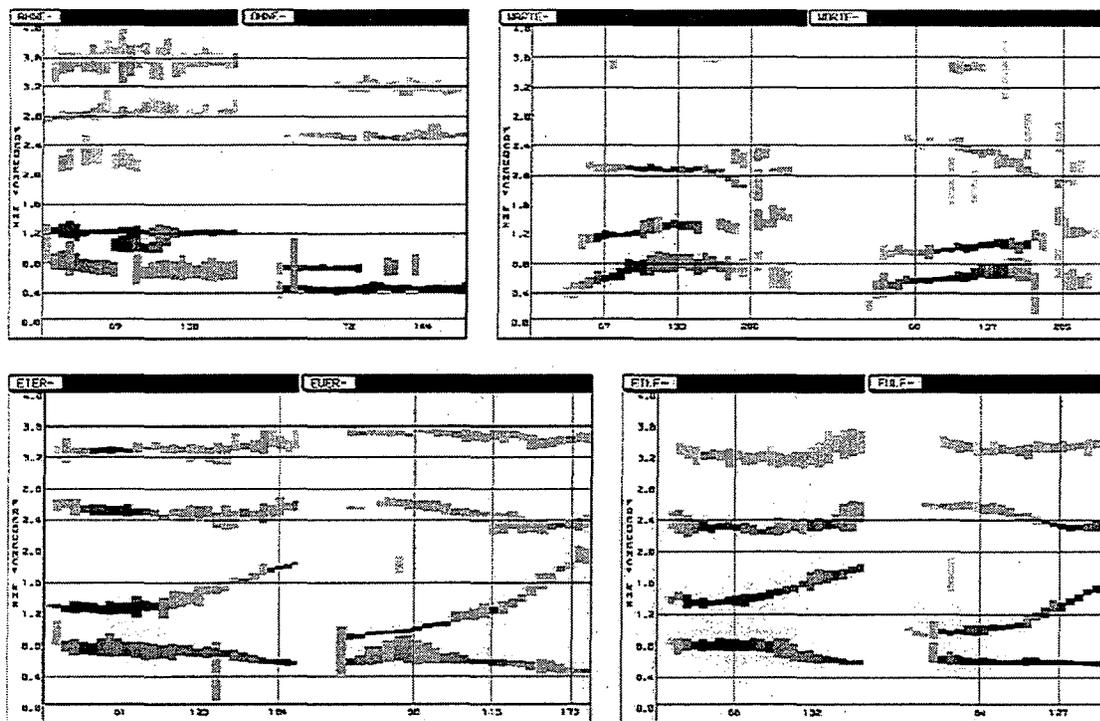


Abbildung 6: LPC-Analysen der für die Diskrimination der Wortpaare *Ahne-ohne*, *warte-Worte*, *Eier-euer* und *Eile-Eule* entscheidenden Vokale. (LPC-Parameter: 1024 Punkte, Hamming-Fenster, 66% Überlappung, 98% Preemphasis)

III - 3.2.1.4 Fazit

Faßt man die Ergebnisse zur Realisierung einer frequenzspezifischen Sprachaudiometrie zusammen, bleiben zwei nutzbare Frequenzbereiche. Die Vokaldiskrimination erfaßt das Hörvermögen im Frequenzbereich bis maximal 3 kHz und die Frikativdiskrimination ermittelt das Hörvermögen im darüberliegenden Frequenzbereich. Die Hochtonspezifität der Frikativdiskrimination wird zwar durch die potentielle Nutzung der Frikativ-Vokaltransitionen etwas abgeschwächt, aber das Hörvermögen für Frequenzen oberhalb von 3 kHz bleibt der dominierende Faktor für die Diskriminationsschwelle.

Die Korrelationen zwischen Hörschwellen und Sprachtest-SRTs haben gezeigt, daß für die Vokaldiskrimination die Tieftonspezifität gegeben ist. Es konnte aufgrund der gewählten Meßfrequenzen nicht geklärt werden, ob der Frequenzbereich zwischen 2 kHz und 3 kHz auch einen Beitrag zur Vokaldiskrimination leistet.

Die Wortgruppe S-künstlich erlaubt eine eindeutige hochfrequenzspezifische Messung, ist aber nicht für die Verwendung im Sprachtest geeignet, da eine teilweise erhebliche Anzahl an Pbn (bis zu 35%) die aus Frikativ+Wort künstlich zusammengesetzten Items nicht als S-Wörter hören.

Die Diskrimination von S-natürlich, also natürlich gesprochenen Wörtern mit Frikativ-Anlaut ist zwar auch vom Hörvermögen bei tiefen Frequenzen und damit der Transitionsauswertung abhängig, dies wirkt sich aber nur bei einem Störgeräusch aus, das die hohen Frequenzen relativ zu den tiefen Frequenzen stärker verdeckt. Bei einem Stimmengewirr, das wenig Energie bei hohen Frequenzen aufweist, ist dieser Einfluß relativ zur Bedeutung der hohen Frequenzen sehr gering. Aus diesem Grund kann auch für S-natürlich von einer ausreichend hohen Hochfrequenzspezifität ausgegangen werden, wenn tieffrequenzbetontes Stimmengewirr als Störgeräusch eingesetzt wird.

III - 3.2.2 Zusammenhang zwischen Hörfeldaudiometrie und Sprachtest

Für den Bezug zwischen frequenzabhängigen Hörverlusten und den Subtests des frequenzspezifischen Sprachtests mußte geklärt werden, welche Parameter dafür herangezogen werden können. Zu diesem Zweck wurde eine neue Methode, die sogenannte Lautheitsspektrographie entwickelt. Begründung und Methodik der Lautheitsspektrographie sind ausführlich in Knoblach (1996) dargelegt, weshalb an dieser Stelle nur ein kurzer Überblick gegeben wird.

Die Lautheitsspektrographie versucht mit einem vorläufigen einfachen Modell die internen peripheren Repräsentationen der Testwörter beim einzelnen Probanden abzubilden. Dazu werden bei jedem Pb Mithörfelder gemessen, bei denen dasselbe Störgeräusch mit demselben Schallpegel verwendet wird, wie es auch im Sprachverständlichkeitstest zum Einsatz kommt. Es wird davon ausgegangen, daß sich in den Mithörlautheitsfunktionen auch die relevanten Faktoren spektrale und zeitliche Maskierung abbilden. Die individuell bestimmten Mithörlautheitsfunktionen werden anschließend verwendet, um die Amplituden der Spektrogramme aller Testwörter in Mithörlautheiten umzurechnen. Auf diese Weise kann bei jedem Pb für jedes Wort und jeden Darbietungspegel berechnet werden, wie deutlich sich welche Merkmale vom Hintergrundgeräusch abheben. Damit steht ein Instrument zur Verfügung, mit dem gezielt geprüft werden kann, unter welchen Bedingungen ein primäres oder sekundäres Merkmal eines Phonems vom Pb überhaupt gehört wird und in der Worterkennung ausgewertet werden kann.

Die Validität der Lautheitsspektrographie hängt wiederum davon ab, inwieweit die Hörfeldaudiometrie und die vorgenommene Erweiterung zur Mithörfeldaudiometrie ein valides Bild der individuellen Lautheitswahrnehmung liefert und inwieweit die Dauer der in der Hörfeldaudiometrie eingesetzten Geräusche bei der Umrechnung der Spektrogramme berücksichtigt werden muß.

Bei einer Stichprobe von 23 normalhörigen Pbn wurden in einem Zeitraum von 7 Wochen sieben Messungen (1 Messung pro Woche) durchgeführt: 1. Ruhehörfeld mit den 9 Standardfrequenzen, 2. Ruhehörfeld mit 8 Zwischenfrequenzen, 3. Mithörfeld (70 dB SPL Stimmengewirr) mit den 9 Standardfrequenzen, 4. Mithörfeld (70 dB SPL Stimmengewirr) mit 8 Zwischenfrequenzen, 5. Messung der Phonemlautheit in Ruhe für die Vokale / :/ und / / aus dem Testwort *Maser* ausgeschnitten und mit /s/ mit den Dauern 50 ms, 100 ms, 200 ms, 350 ms und 1000 ms, 6. Messung der Phonemlautheit bei 70 dB SPL Stimmengewirr mit denselben

Phonemen wie bei 5, 7. Messung der Wortdiskriminationsschwelle mit dem Phonem /s/ im Sprachverständlichkeitstest bei 70 dB SPL Stimmengewirr. Die Ergebnisse belegen sowohl die Reliabilität und Validität der Hörfeldmessung in Ruhe und bei Störgeräusch als auch die Verwendbarkeit dieser Messungen für die Lautheitsspektrographie. An der individuellen Diskriminationsschwelle für das /s/ wurde eine mittlere Mithörlautheit dieses Phonems von 1.16 Skt. mit einer Standardabweichung von 0.8 Skt. berechnet. Der Vokal /a:/ hat bei diesem Signalrauschabstand eine mittlere Lautheit von 1.26 Skt. und der Vokal /ə/ eine mittlere Lautheit von 0.33 Skt.

In einer weiteren umfangreichen Untersuchung wurden Sprachtestergebnisse und Lautheitsspektrographie bei 7 normalhörenden hochgeübten Skalierern (Mitarbeiter des Instituts) bei 3 Störgeräuschtypen (Stimmengewirr, sprachsimulierendes Rauschen und weißes Rauschen) sowohl mit als auch ohne Tiefpaßfilterung (Grenzfrequenz: 2 kHz, Flankensteilheit: ca. 25 dB/Oktave) verglichen. Es zeigte sich, daß die zur /s/- und Vokal-Diskrimination notwendige Überschwelligkeit nicht unabhängig vom Störgeräuschtyp und der Filterung ist. Für das /s/ lagen die berechneten Mithörlautheiten zwischen 0.18 Skt. und 2.52 Skt. und für die Vokaldiskrimination zwischen 0.60 Skt. und 1.48 Skt. Eine Untersuchung von sieben Pb mit unterschiedlich starkem Hochtonverlust mit 70 dB Stimmengewirr als Störgeräusch ergab berechnete Mithörlautheiten für das /s/, die zwischen 0.20 Skt. und 2.52 Skt. für S-natürlich und zwischen 0.33 Skt. und 3.63 Skt. für S-künstlich lagen. Für die Vokalerkennung wurden Mithörlautheiten zwischen 0.76 Skt. und 8.01 Skt. berechnet. Die Abbildung 7 zeigt exemplarisch die Lautheitsspektrogramme für die Testwörter *Säule*, *SEule*, *Eule*, *Eile*, *Seier*, *SEier*, *Eier*, *Euer*, *Sorte*, *SOrte*, *Worte* und *Warte* an der jeweiligen Diskriminationsschwelle für den Pb 5496. Der Schwärzungsgrad kodiert die Lautheit der jeweiligen Sprachmerkmale.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß für die gewählte Aufgabe der Diskriminierung von jeweils zwei Phonemen gegeneinander nur eine geringe Überschwelligkeit des untersuchten Phonems notwendig ist, um es zu erkennen. Die maximal notwendige Phonemmithörlautheit betrug 8 Skt., in der Regel liegt sie jedoch unter 5 Skt.

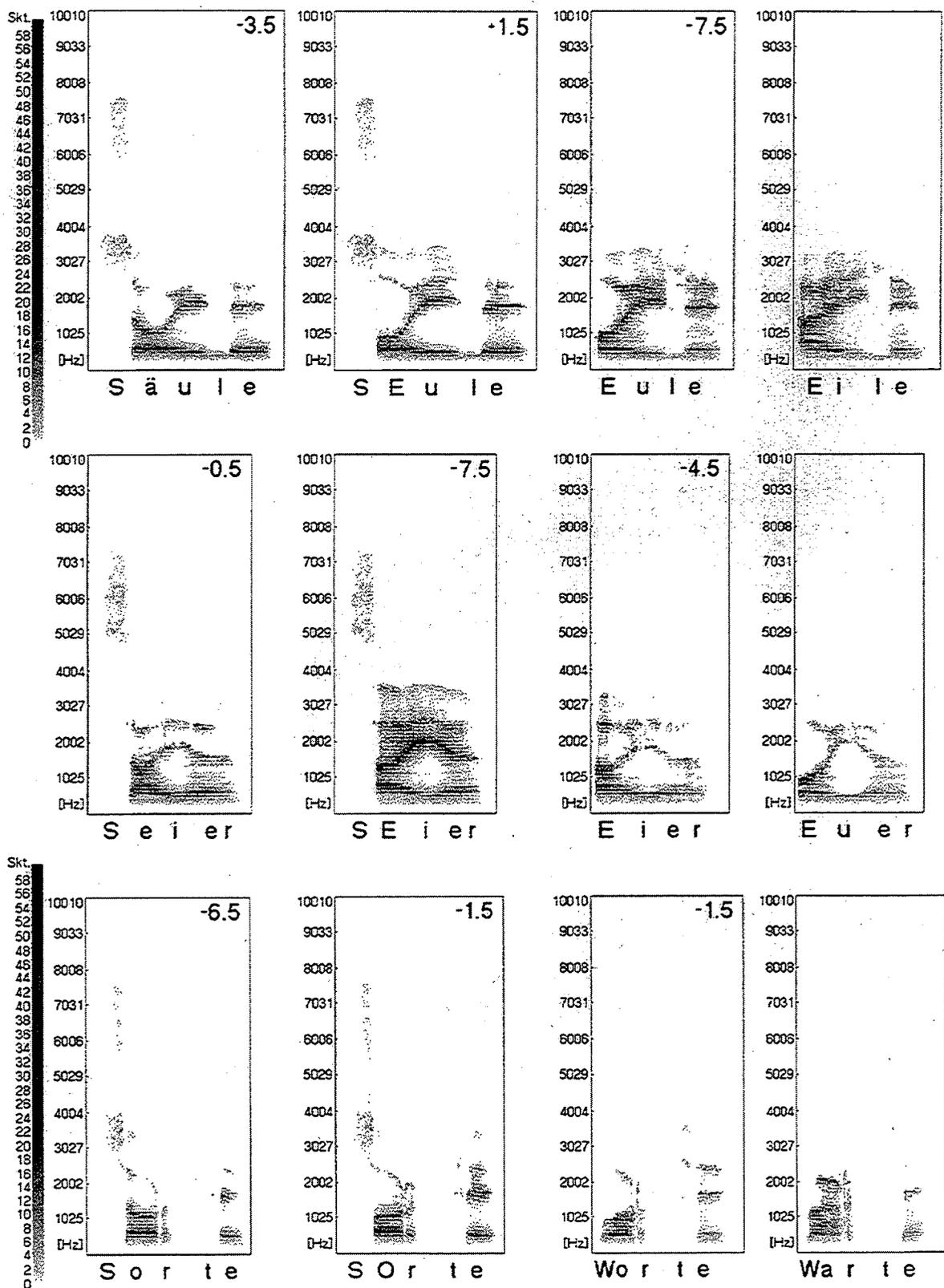


Abbildung 7: Lautheitsspektrogramme der Sprachtestwörter an der Diskriminationsschwelle für den Pb 5496. Abszisse: Zeit, Ordinate: Frequenz, Schwärzungsgrad: Lautheit. Für die dargebotenen Wörter ist die Diskriminationsschwelle in dB S/R eingetragen. Für die Vokaldiskrimination ist zusätzlich das nicht dargebotene Alternativwort dargestellt, da gegen dieses diskriminiert werden mußte.

III - 3.3 Reliabilität

Die Reliabilität eines Verfahrens gibt an, wie genau es mißt, unabhängig davon, ob es auch tatsächlich das mißt, was es messen soll. Sie ist Grundvoraussetzung für die Validität des Verfahrens, also inwieweit das gemessen wird, was gemessen werden soll. Ein Verfahren, das Schwerhörigkeit mißt, sollte auch in der Lage sein, diese wiederholbar und mit ausreichender Präzision festzustellen.

Für die Ermittlung der Reliabilität des Sprachtests haben wir uns für eine Meßwiederholung und die Bestimmung der Korrelation zwischen den Messungen entschieden. Grundvoraussetzung ist dabei eine ausreichend hohe Varianz des untersuchten Merkmals, da sonst trotz hoher Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen zu verschiedenen Meßzeitpunkten keine hohe Korrelation bestehen kann. Aufgrund einer Reihenuntersuchung in der Würzburger AOK, bei der insgesamt 189 Pbn mit Hörfeldaudiometrie und Sprachaudiometrie untersucht wurden, haben wir eine Stichprobe von 24 Pbn ausgewählt, die eine ausreichend hohe Gehörvarianz aufwies. Diese 24 Pbn wurden zu vier Testsitzungen in das Institut eingeladen und mit Ruhehörfeld, Mithörfeld und einer Kurzversion und einer Langversion des Sprachtests untersucht.

Die Korrelationen zwischen den Testzeitpunkten lag für die Wortgruppen S-Natürlich bei .85 (ohne Hörgerät=oHg) und .75 (mit Hörgerät=mHg), für S-künstlich bei .85 (oHg) und .87 (mHg) und für die Vokaldiskrimination bei .75 (oHg) und .22 (mHg). Außer der letzten Korrelation waren alle Koeffizienten höchst signifikant - mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0.0001$. Weiter unten werden die eingesetzten Testversionen und die Ergebnisse im detail besprochen.

Es kann nach diesen Ergebnissen von einer hohen Reliabilität des Verfahrens ausgegangen werden. Berücksichtigt man die Varianz, die durch den möglichen unterschiedlichen Sitz des Kopfhörers Jecklin Float in die Messungen eingebracht wurde, ist die Reliabilität des Testkonzepts sogar als sehr hoch zu bezeichnen. In Teil I des Abschlußberichts wurde die intraindividuelle Varianz der Schallpegel am Gehörgangseingang bei mehrfachem Aufsetzen des Kopfhörers für hohe Frequenzen mit 5-6 dB ermittelt.

III - 3.4 Störgeräusch

Innenohrschwerhörigkeit kann sich nicht nur in frequenzspezifischen Lautheitsverlusten äußern, sondern auch in einem reduzierten Zeit- und Frequenzauflösungsvermögen. Letztere können zu einer erheblichen Erhöhung der Verdeckung von Signalen (in unserem Fall Sprache) durch Störgeräusche führen. Die meisten von uns befragten Schwerhörigen beklagten, daß sie in Situationen, in denen auch mehrere andere Personen gleichzeitig Gespräche führen, keine vernünftige sprachliche Kommunikation mehr führen können, während sie in ruhiger Umgebung (zumindest mit Hörgerät) noch relativ gut verstehen. Auch bei Personen, die nur eine leichte (beginnende Schwerhörigkeit aufweisen, wird diese meist erst bei simultanem Störgeräusch auffällig. Es ist deshalb notwendig, daß ein Sprachverständlichkeitstest gerade diese Hörsituationen quantitativ erfaßt.

In den durchgeführten Untersuchungen wurden zwei Störgeräusche eingesetzt: Stimmengewirr und weißes Rauschen. Das Stimmengewirr ist relativ dicht und hat den Vorteil, daß es als Stimmengewirr wahrgenommen wird, man aber buchstäblich kein Wort daraus erkennen kann. So kommt es zu keiner Interferenz mit der Diskriminationsaufgabe.

Das weiße Rauschen ist sehr gut dazu geeignet, den Grad der Nutzung der Konsonant-Vokal-Transitionen bei der Diskrimination zu untersuchen. hat sich jedoch gezeigt, daß es durch die Überbetonung des Frequenzbereichs der Transitionen die Hochfrequenzspezifität gefährdet und deshalb für die Diagnostik nicht geeignet ist.

Die Vor- und Nachteile des jeweiligen Störgeräuschs werden bei der Beschreibung der einzelnen Untersuchungen jeweils ausführlich erläutert.

III - 3.5 Aufnahme und Bearbeitung des Sprachtestmaterials

Die Testworte wurden von einem männlichen Sprecher einzeln gesprochen und über einen 16 Bit-AD/DA-Wandler (Eigenentwicklung) mit einer Samplerate von 50 kHz und einem 20 kHz Tiefpaßfilter (Antialiasing) direkt in den Computer aufgenommen. Bei der Aufnahme wurde auf eine Vergleichbarkeit der Wörter hinsichtlich Stimmlage, Stimmaufwand und Betonung geachtet. Die direkte Aufnahme in den Computer erlaubt deren sofortige Kontrolle und Analyse. Auf diese Weise konnte eine hohe Übereinstimmung der einzelnen Aufsprachen erreicht werden. Die Aufnahmen wurden mit einem Sample-Editor (Eigenentwicklung; Knoblach, 1996) nachbearbeitet. Die Nachbearbeitung beinhaltete Ein- und Ausblenden der Testwörter und eine eventuelle Angleichung der entscheidenden Amplitudenverhältnisse zwischen Konsonant und Vokal. D.h. für alle Testwörter, die in eine Meßbedingung eingehen, wird z.B. die /s/-Vokal-Relation auf -5 dB eingestellt. Die dazu notwendigen Anhebungen bzw. Absenkungen des Konsonanten lagen in einem Bereich von +2 dB bis -2 dB. Für die kalibrierte Wiedergabe werden die Testwörter anhand der RMS-Amplitude des entscheidenden Vokals (in den meisten Fällen der erste und lautere) verstärkt. Der Sample-Editor wurde auch zur Herstellung sogenannter "künstlicher" Testwörter eingesetzt. Dazu gehört z.B. das Zusammenschneiden eines natürlich gesprochenen /s/ und eines ebenfalls natürlich gesprochenen Wortes ohne Anlaut-/s/: /s/ aus *Sahne* ausgeschnitten + *Ahne* → *SAhne* (ein S-Anlaut ohne Konsonant-Vokal-Transition).

Bis Ende 1992 wurde ein Stimmengewirr eingesetzt, das mit einer direkten Aufnahme realisiert worden war. Die Aufnahme erfolgte durch direkte Aufsprache eines frikativarmen Texts (ein /ts/, ein /f/), der von 30 Sprechern und Sprecherinnen zeitversetzt gemurmelt wurde. Diese standen in einer Ellipse um einen Kunstkopf mit außen angebrachten Mikrofonen der Firma Sennheiser (MKE 2002). Die Aufnahme erfolgte in der Camera silens der HNO-Klinik Würzburg. Aus dieser Aufnahme wurden 3 homogene 5-sekündige Ausschnitte für den Diskriminationstest ausgeschnitten. Die Dauerspektren der drei Stimmengewirrsamples sind in Abbildung 7A dargestellt.

Für die Erstellung des Stimmengewirrs der späteren Untersuchungen wurde jede(r) Sprecher/in getrennt aufgenommen und anschließend eine gleichgewichtige digitale Mischung vorgenommen. Der Text war der gleiche wie beim ersten Stimmengewirr, lediglich die dort enthaltenen Frikative wurden herausgenommen. Er sollte so monoton wie möglich gesprochen werden. Vor der Mischung wurde jede einzelne Aufnahme in Blöcke aufgeteilt und diese zu einer neuen zufälligen Sequenz zusammengefügt. Auf diese Weise konnte ein sehr dichtes und pegelhomogenes Stimmengewirr erzeugt werden. Die Dauerspektren der drei Stimmengewirrsamples sind in Abbildung 7B dargestellt. Für die Verwendung im Sprachtest wurden daraus drei Abschnitte von jeweils 3 s Dauer ausgeschnitten und mit jeweils 200 ms gaussförmig ein- und ausgeblendet. Im Test werden diese drei Störgeräuschabschnitte zufällig auf die Darbietungen aufgeteilt.

Das verwendete Stimmengewirr ist in beiden Fällen so dicht, daß es als Stimmengewirr wahrgenommen wird, aber im relevanten Zeitabschnitt keine einzelnen Äußerungen erkannt werden können. Auf diese Weise wird eine Interferenz mit der Diskriminierungsaufgabe vermieden.

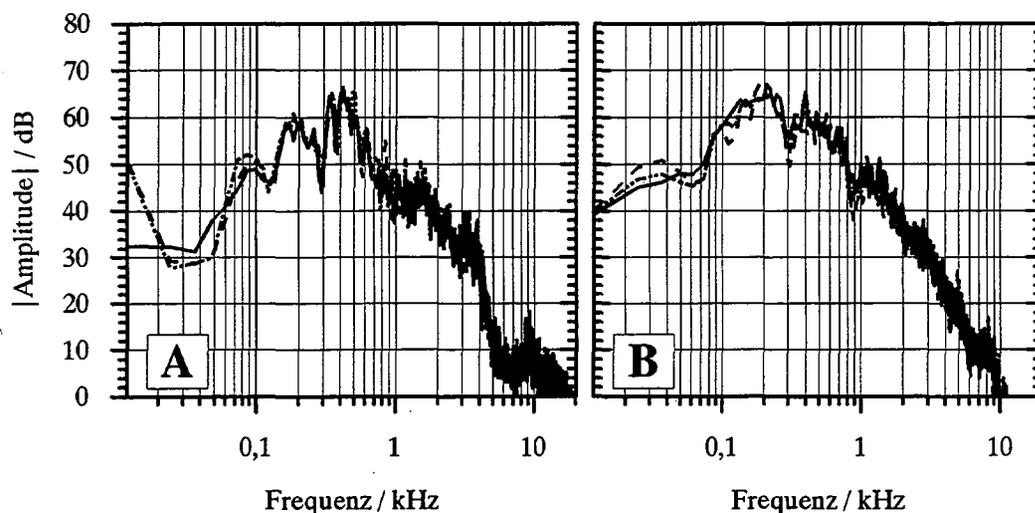


Abbildung 8: Dauerspektren der drei Samples für das Stimmengewirr bis 1992 (A) und das Stimmengewirr nach 1992 (B). (FFT-Parameter: $\Delta t=20\text{ms}$, $N=4096$, $\text{Offset}=4096$, $T=81.92 \mu\text{s}$, $\Delta f=12.21 \text{ Hz}$, Fenstergewichtung: HANN, Mittelung: RMS).

III - 3.6 Signalrauschabstand

In den ersten Untersuchungen des Projekts wurde der Darbietungspegel für die Testwörter so eingestellt, daß er für den Probanden jeweils angenehm laut war. Dies wurde als Hinweis auf den Hörverlust in Ruhe bei tiefen Frequenzen gewertet. Der Darbietungspegel der Testwörter wurde über den gesamten Test hinweg konstant gehalten und die unterschiedlichen Signalrauschabstände durch die Variation des Störgeräuschpegels hergestellt. Bei dieser Realisierung

der Signalrauschabstände kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, daß das Störgeräusch immer gehört wird. Die Diskriminationsschwelle könnte bei einem Schwerhörigen erst bei einem Störgeräuschpegel erreicht werden, bei dem sonst die verdeckenden spektralen Anteile unter die Hörschwelle des Pb gesunken sind.

Für die weiteren Untersuchungen wurde deshalb eine ökologisch validere Anordnung gewählt und das Störgeräusch konstant mit 70 dB dargeboten. Dies entspricht z.B. einem Cafe mit einem konstanten mittelauten Stimmengewirr im Hintergrund. Es wird jetzt gemessen, wie laut ein Gesprächspartner des Pb mit ihm sprechen muß, damit er ihn (ohne und mit Hörgerät) verstehen kann.

III - 3.7 Kalibrierung

Da keine Möglichkeit zur Frequenzgangentzerrung in Echtzeit für breitbandige Signale bestand, wurde auf diese verzichtet, und lediglich der Gesamtdarbietungspegel auf die Diffusfeldkalibrierung eines schmalbandigen Geräuschs von 1000 Hz kalibriert. Für das Stimmengewirr wurde auf die RMS-Amplitude des Ausschnitts bezogen, in den das Testwort eingemischt wird, und für die Testwörter auf die RMS-Amplitude des lautereren (=ersten) Vokals.

III - 3.8 Technik

Die Darbietungen erfolgten bis 1992 mit einem offenen Kopfhörer der Marke Jecklin Float Model II und danach mit einem offenen Kopfhörer der Marke AKG K1000. Eine technische Beschreibung des Kopfhörers AKG K1000 befindet sich im Anhang.

Der Kopfhörer Jecklin Float war direkt am Mischverstärker des DA-Wandlers angeschlossen, der Kopfhörer AKG K1000 an einem speziellen Vorverstärker K1000-Amplifier (Beschreibung im Anhang A) der mit den Line-Ausgängen des Wandlers verbunden war. Die Versuchssteuerung erfolgte mit selbst entwickelter Darbietungssoftware über einen Computer ATARI Mega ST4 oder ATARI TT08. Für größere Reihenuntersuchungen wurde zusätzlich auch die Darbietung verschiedener fester Sprachtestabfolgen vom DAT-Rekorder eingesetzt.

Die Analyse und Bearbeitung des Versuchsmaterials wurde mit selbst entwickelter Software durchgeführt (s. Anhang B) und mit einem Frequenzanalysator Hewlett Packard HP 3582A überprüft.

III - 3.9 Darbietung

Für die Darbietung eines Testwortes wurde jeweils eines der drei Störgeräuschsamples zufällig ausgewählt und das Testwort auf die richtige Position gebracht. Diese ist 2.5 s nach Störgeräuschbeginn in den 5 s-Samples und 1 s nach Störgeräuschbeginn in den 3 s-Samples. Bei den 5 s-Samples wird noch ein "Achtung-Ton" von 1 kHz und 200 ms Dauer auf die Position 1 s eingemischt. Das Störgeräusch wird über einen Kanal des Wandlers dargeboten, das Test-

wort im anderen Kanal. Die Mischung der beiden Signale auf den/die entsprechenden Kopfhörerlautsprecher erfolgt im Anschluß an die signalrauschabstandsabhängige Kanaldämpfung mit einer Kanalweiche.

Bei den größeren Reihenuntersuchungen wurden zusätzlich auch Tests vom DAT-Rekorder dargeboten. Bei diesen Tests ist die Wort-Störgeräuschzuordnung (technisch bedingt) konstant. Wurde der offene Kopfhörer Jecklin Float Model 2 verwendet, dann befand sich zwischen den Line-Ausgängen des DAT-Rekorders und dem Kopfhörer ein Verstärker (Eigenentwicklung), der eine Grobregelung von 25 dB in 5 dB-Stufen erlaubt.

III - 3.10 Testaufbau

Die Anzahl der Items, der Wortbedingungen, der Signalrauschabstände und der Items je Signalrauschabstand ist für jede Testversion unterschiedlich und wird für die jeweilige Untersuchung im einzelnen mitgeteilt werden.

III - 3.11 Auswertung

Für jede Wortbedingung wird die Anzahl der korrekten Antworten, der Verwechslungen, der nicht verstandenen und nicht gehörten Items über dem Signalrauschabstand angegeben. An den Verlauf der korrekten Antworten wird eine Funktion zur Schätzung der Diskriminationsschwelle angepaßt. Für die Untersuchungen bis Ende 1992 wurde eine Regressionsgerade im Übergangsbereich von 100% bis 0% (per Augenschein bestimmt) verstandener Wörter verwendet, für die späteren Untersuchungen wurden drei Geraden iterativ so angepaßt, daß sich ein Abweichungsminimum der Einzelwerte von diesen ergibt. Die erste Gerade verläuft auf der Nulllinie bis zu einem ersten Grenzwert, die zweite Gerade von diesem Grenzwert bis zu einem zweiten Grenzwert auf der 100%-Linie, die dritte Gerade von dort auf der 100%-Linie. Diese beiden Grenzwerte werden iterativ bestimmt. Abbildung 9 soll den Verlauf dieser drei Geraden (hell gezeichnet) veranschaulichen.

Das Beispiel in Abbildung 9 zeigt das Ergebnis eines normalhörigen Pb, der die **S-natürlich-Wörter** bis zu einem Signalrauschabstand von 18 dB korrekt versteht. Bei -20 dB SR hat er eine Verwechslung (also z.B. Eile statt Seile gehört), bei -22 und -24 dB SR hat er zwar gehört, daß ein Wort im Störgeräusch dargeboten wurde, konnte dieses aber nicht identifizieren. Ab -26 dB SR war er nicht mehr in der Lage im Störgeräusch ein Wort zu entdecken. Die Anpassung der Verständlichkeitsfunktion erfolgte hier mit einem gleitenden Mittel über 3 Meßwerte, um eventuelle Schwankungen in den Antworten (nur ein Wort je Signalrauschabstand!) abzufangen. Als Diskriminationsschwelle für **S-natürlich-Wörter** wurden -19 dB SR ermittelt.

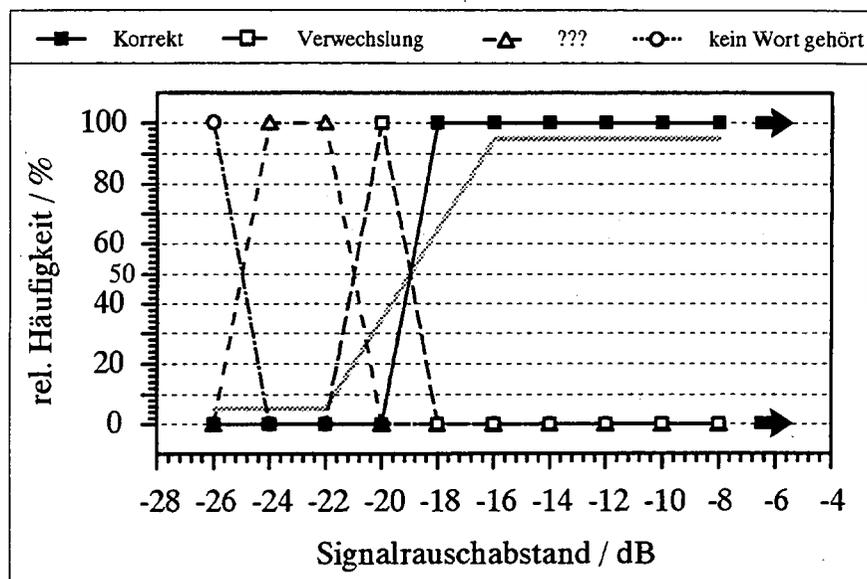


Abbildung 9: Beispiel für die grafische Darstellung eines Sprachtestergebnisses: Wortbedingung S-natürlich. Graue Linie: über gleitendes Mittel (n=3) angepasste Verständlichkeitsfunktion (für einen besseren Überblick wurde die 100%-Gerade bei 95% und die 0%-Gerade bei 5% eingezeichnet). Die Pfeile am rechten Rand der Grafik sollen andeuten, daß die Ergebnisse leichter Signalrauschabstände (bis +12 dB) gleich ausfielen und deshalb zur besseren Übersicht nicht eingezeichnet wurden.

III - 4 Untersuchungen

III - 4.1 Hochtenspezifität

III - 4.1.1 Eliminierung der MTB-HTB-Wechselwirkung aus der /s/-Verständlichkeit

Die oben geschilderten Ergebnisse der ersten Sprachtesterweiterung führten zu einer erneuten Überarbeitung des Konzeptes. Geht man davon aus, daß auch bei natürlich gesprochenem, unmanipuliertem Sprachmaterial das Hörvermögen im Frequenzbereich unterhalb von 4 kHz - aufgrund der Konsonant-Vokal- bzw. Vokal-Konsonant-Transienten - eine wichtige Rolle bei der Erkennung von hochfrequenten Frikativen spielen kann, muß dieser Zusammenhang im Sprachtest quantifizierbar gemacht werden. Ein erster Ansatz dazu wurde in einer weiteren Reihenuntersuchung in Zusammenarbeit mit der AOK Würzburg im März/April 1992 überprüft. Ein erster Überblick über diese Experimente wurde bereits veröffentlicht (Knoblach, 1992).

III - 4.1.1.1 Aufbau des Testmaterials

Der Sprachtest soll es ermöglichen, Hochtenschwerhörigkeit anhand der Diskriminierbarkeit von Phonemen mit Energieschwerpunkt im hochfrequenten Bereich (oberhalb von 3 kHz) zu

quantifizieren. Dabei wird das stimmlose /s/ als Prototyp für diese Phoneme verwendet. Das Testkonzept ist geschlossen, wobei dem Probanden bei jeder Darbietung ein Wortpaar als Antwortalternativen vorgegeben wird, er aber auch mit "nicht genau verstanden" und "nichts gehört" antworten kann. Nach dem oben bereits ausführlich besprochenen Konzept, werden die Wortpaare so zusammengestellt, daß sie sich jeweils nur im Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein des Testphonem /s/ unterscheiden. Bisher wurde meist ein Alternativphonem vorgegeben, welches so gewählt werden mußte, daß es im interessierenden Frequenzbereich maximale Differenz zum Testphonem aufweist.

Um diese Schwierigkeiten zu vermeiden, suchten wir Wörter, die mit einem Vokal beginnen und auch dann noch sinnvolle Wörter bleiben, wenn man sie mit einem /s/- oder /f/-Anlaut kombiniert (Beispiel: *Eile* - *Seile* - *Feile*). Wenn man aufgrund einer Hochtonschwerhörigkeit nicht in der Lage ist, das hochfrequente Rauschband des /s/ zu hören, dann muß man statt /Seile/ ein /Eile/ hören und hat kaum noch eine Möglichkeit, aus dem Gehörten auf das Vorhandensein eines /s/ zu schließen. Letzteres geht nur dann, wenn die im tieferfrequenten Bereich liegenden Konsonant-Vokaltransitionen erkannt werden. Diese Möglichkeit wird dadurch eliminiert, daß Wörter mit Vokalanlaut digital mit einem Anlaut-/s/ kombiniert werden. D.h. ein /Eile/ wird hinter ein /s/ (aus /Saal/ ausgeschnitten) plaziert und die Kombination dargeboten. Zusätzlich können bei der digitalen Verknüpfung die Vokal-Konsonant-Pegolverhältnisse zugunsten der Konsonanten verändert werden. Auf diese Weise ist es möglich, die notwendige relative Verstärkung von tief- zu hochfrequentem Bereich zu ermitteln, die ein Hörgerät erzielen müßte, um deren natürliche Verhältnisse in der Wahrnehmung des Pb wiederherzustellen.

III - 4.1.1.2 Verwendung von Störgeräusch

Innenohrschwerhörigkeit äußert sich oft nicht nur in frequenzspezifischen Lautheitsverlusten, sondern auch in einem reduzierten Zeit- und Frequenzauflösungsvermögen. Letztere können zu einer erheblichen Erhöhung der Verdeckung von Signalen (in unserem Fall Sprache) durch Störgeräusche führen. Die meisten von uns befragten Schwerhörigen beklagten, daß sie in Situationen, in denen auch mehrere andere Personen gleichzeitig Gespräche führen, keine vernünftige sprachliche Kommunikation mehr führen können, während sie in ruhiger Umgebung (zumindest mit Hörgerät) noch relativ gut verstehen. Auch bei Personen, die nur eine leichte (beginnende) Schwerhörigkeit aufweisen, wird diese meist erst bei simultanem Störgeräusch deutlich. Aus diesen Gründen sollte ein Sprachverständlichkeitstest gerade diese Hörsituationen quantitativ erfassen und die Diskrimination der Testphoneme bei unterschiedlich lautem Störgeräusch messen. Wir haben uns für ein relativ dichtes Stimmengewirr (30 Sprecher/innen) entschieden. Dieses hat den Vorteil, daß es als Stimmengewirr wahrgenommen wird, man aber buchstäblich kein Wort daraus erkennen kann. Es kommt also zu keiner Interferenz mit der Diskriminierungsaufgabe.

III - 4.1.1.3 Bedeutung der Testwortvokale

Die Diskriminationsschwellen für Vokale geben Aufschluß über die individuelle Hörfähigkeit im tief- bis mittelfrequenten Bereich. Die Wortpaare sind so ausgewählt, daß sie den gleichen Wortstamm enthalten wie die S-Wörter nur eben ohne den Anlaut-Frikativ. Z.B.: den Wortpaaren *Seile-Eile* und *Säule-Eule* in der Wortbedingung S-künstlich entspricht das Wortpaar *Eile-Eule* bei der Vokaldiskrimination. Prüft man bei denselben Signalrauschabständen (SR) die Diskriminierbarkeit von z.B. *Eile-Eule*, *Seile-Eile* (dargebotenes Wort: *Seile*) und *Eile-Seile* (dargebotenes Wort: *Eile*), dann erhält man ein sehr differenziertes Bild darüber, welche Leistungen der Pb bei welcher Schwierigkeitsstufe noch erbringen kann, und wie diese zu interpretieren sind.

III - 4.1.1.4 Methode

III - 4.1.1.4.1 Aufnahme

Die Testwörter wurden von einem männlichen Sprecher einzeln gesprochen und über einen 16 Bit-AD/DA-Wandler (Eigenentwicklung) mit einer Samplerate von 50 kHz und einem 20-kHz-Tiefpaßfilter direkt in den Computer aufgenommen und analysiert. Bei der Aufnahme wurde auf eine Vergleichbarkeit der Wörter hinsichtlich Stimmlage, Stimmaufwand und Betonung geachtet. Die S-natürlich-Wörter werden durch Kombination eines natürlichen /s/ (aus dem Wort /Saal/ ausgeschnitten) mit den ausgewählten Testwörtern erzeugt. Beispiel: /s/+Eile -> Seile. Auf diese Weise werden Formanttransitionen als mögliche Informationsquellen für ein vorhandenes /s/ ausgeschlossen. Es wird immer dasselbe /s/ verwendet. Sein Spektrum kann der Abbildung 10A entnommen werden. Die Begründung und Konstruktion der S-natürlich-Wörter sind oben bereits ausführlich dargestellt worden.

Als Störgeräusch wird Stimmengewirr verwendet, das in der Camera silenta der HNO-Klinik Würzburg mit 30 Sprecher/innen aufgenommen wurde. Dabei murmelten die Personen, zeitlich versetzt, einen Text ohne Frikative. Für die Aufnahme wurde ein Tonbandgerät Revox B77 verwendet. Abbildung 10B zeigt das Dauerspektrum eines Ausschnitts des Stimmengewirrs.

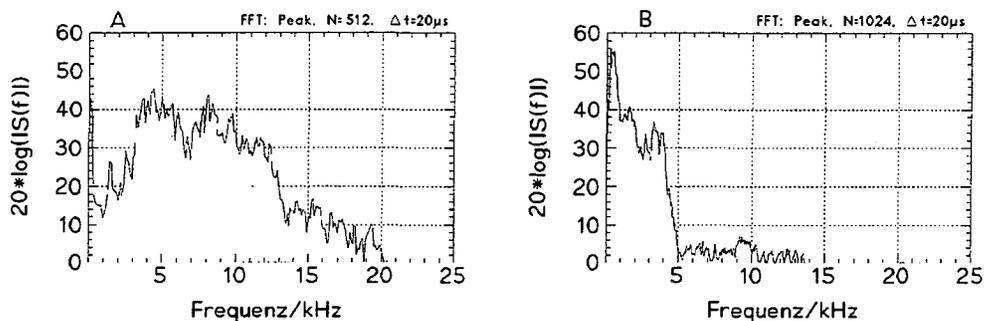


Abbildung 10: A) Spektrum des Phonems /s/ aus Saal; B) Dauerspektrum des Stimmengewirrs.

III - 4.1.1.4.2 Darbietung

Für die Darbietung werden ausgewählte 3-s-Abschnitte des Stimmengewirrs verwendet, deren Pegelverläufe (RMS, Zeitfenster: 30 ms) und Spektren über den gesamten Abschnitt ähnlich und an der Wortposition weitgehend identisch sind. Die Testwörter werden auf eine Position von exakt 1 s nach Beginn des Stimmengewirrs plaziert. Bei der Kombination /s/ plus Testwort, wird das /s/ auf diese Position gesetzt und das Testwort direkt angeschlossen. Das /s/ wurde mit einem Zeitfenster von 5 ms linear ausgeblendet und die Vokalanlaute mit demselben Zeitfenster linear eingebledet. Störgeräusch und Wörter befinden sich mit optimaler digitaler Aussteuerung in zwei verschiedenen Kanälen und werden erst nach der DA-Wandlung über einen rechnergesteuerten Abschwächer analog auf den gewünschten Darbietungspegel und Signalausabstand gedämpft und über eine gesteuerte Kanalweiche auf den/die Kopfhörerlautsprecher gemischt. Außerdem kann das Konsonant-Vokal-Pegelverhältnis innerhalb der Testwörter durch digitale Verstärkung bzw. Abschwächung verändert werden. Für die Darbietung wurde ein offener Kopfhörer JECKLIN Float Model 2 verwendet.

III - 4.1.1.4.3 Testaufbau

Der Test umfaßt 38 Items. Zwei Testteile mit jeweils 16 Wörter dienen zur Untersuchung der Vokal- und der /s/-Diskriminierbarkeit. Zusätzlich kommen 6 Vexierwörter (Wörter ohne /s/, bei denen die Antwortmöglichkeit /s/ gegeben wird) hinzu. Acht Signalausabstände werden mit jeweils zwei Wörtern in jedem Testteil geprüft. Es gibt intern zwei Testhälften mit gleicher Schwierigkeit und vergleichbarer Abfolge. Damit sollen Zeiteffekte (Übung, Ermüdung etc.) ermittelt und eine Schätzung der split-half-Reliabilität vorgenommen werden. Der Aufbau des Tests kann der Tabelle 1 entnommen werden. Die Signalausabstände und die Testwörter sind zufällig über die Testhälften verteilt. Die einzige Ausnahme bilden die ersten drei Wörter, die sich bei jeweils dem günstigsten Signalausabstand aus einer Vokaldiskrimination, einer /s/-Diskrimination und einer /s/-Vexierwort-Diskrimination zusammensetzen. So erhält der Pb die Möglichkeit, sich in den Test einzuhören.

Tabelle 1: Zuordnung der Testwörter zu den Signalrauschabständen.

SR	-8 dB	-4 dB	0 dB	4 dB	8 dB	12 dB	16 dB	20 dB	
Vokale	Neun eile	Eier Euer	Eule Worte	Ohne Eier	Eile Neun	Warte Eule	Nein Ahne	Euer Eile	1.Hälfte 2.Hälfte
S-künstlich	SEin SEile	SAhne SEule	SEule SEin	SEier SORte	SEile SEin	SORte SEule	SEier SAhne	SEile SEule	1.Hälfte 2.Hälfte
S-Vexier					Eile Ahne	Orte Ein	Eile Eule		1.Hälfte 2.Hälfte

Die dem Pb vorgegebenen Antwortalternativen für jede Wortbedingung waren (in Klammer steht das dargebotene Item):

Vokalbereich: Nein-Neun (Nein bzw. Neun), Eier-Euer (Eier bzw. Euer), Eile-Eule (Eile bzw. Eule), Warte-Worte (Warte bzw. Worte), Ahne-Ohne (Ahne bzw. Ohne).

/s/-Zielbereich: Seile-Eile (SEile), Seier-Eier (SEier), Säule-Eule (SEule), Sorte- Orte (SORte), Sein-Ein (SEin), Sahne-Ahne (SAhne).

/s/-Vexierbereich: Seile-Eile (Eile), Sorte-Orte (Orte), Sahne-Ahne (Ahne), Sein- Ein (Ein)

III - 4.1.1.4.4 Testablauf

Zuerst wird die Darbietungslautstärke der Testwörter (ohne Störgeräusch) auf "angenehme Lautstärke bei guter Verständlichkeit" eingeregelt. Für diese Einstellung werden die Wörter Eile, Ahne, Neun und Worte aus dem Vokalbereich verwendet. Der Pb hat eine Liste dieser vier Wörter vor sich liegen und muß angeben, ob die Lautstärke ausreichend war und welche der Wörter er verstanden hat. Kann bei 90 dB SPL kein Wort verstanden werden, dann wird der Test nicht durchgeführt. Anschließend erhält der Proband den Antwortbogen, auf dem er jeweils die möglichen Alternativen mitlesen kann und auf dem er das jeweils gehörte Wort ankreuzen soll. Er wird darauf hingewiesen, daß er in nicht eindeutigen Fällen auf keinen Fall raten darf, sondern "Nicht genau verstanden" angeben muß. Die Testdurchführung dauert ca. 4'30".

III - 4.1.1.5 Ergebnisse

Neben dem Sprachtest wurde ein Kurzverfahren der Hörfeldskalierung mit dem Kategorien-Unterteilungsverfahren (vgl. Heller; 1985, 1991) eingesetzt, um das überschwellige Hörvermögen zu bestimmen. Die Beschreibung der Hörfeldaudiometrie kann Teil II des Berichts entnommen werden.

III - 4.1.1.5.1 Individualergebnis

Abbildung 10 zeigt das Sprachtestergebnis einer 56jährigen Probandin. Es wurde monaural mit (Abbildung 10B) und ohne Hörgerät (Abbildung 1A) gemessen. Der Hörverlust in dB der Probandin bei der "mittel"-Isophone (25 Skalenteile) kann Abbildung 11 entnommen werden. Das Hörgerät bringt eine Verstärkung von ca. 10 dB im Frequenzbereich oberhalb von 3 kHz. Die Schwelle für die /s/-Erkennung liegt mit Hörgerät bei einem Signalrauschabstand von -2 dB (Abbildung 11Ba) und ohne Hörgerät bei +2 dB (Abbildung 11Aa). Der an normalhörigen Pbn vorläufig bestimmte Normwert beträgt -16 dB. Demgegenüber hat die Probandin einen Hörverlust von 18 dB an Signalrauschabstand und gewinnt durch das Hörgerät 4 dB. Die Diskriminationsschwelle des Vokalbereichs liegt sowohl mit (Abbildung 11Bb), wie auch ohne Hörgerät (Abbildung 11Ab) bei -6 dB, was einem Verlust von 2 dB gegenüber der Normschwelle (-8 dB) bedeutet. Bei dem Signalrauschabstand (ohne Hörgerät: +2 dB), ab dem die Probandin den /s/-Anlaut nicht mehr diskriminieren kann, diskriminiert sie aber immer noch die Wörter des Vokaltestteils. In letzterem liegt die Schwelle bei -6 dB. Wie erwartet, hört sie im /s/-Testteil zwischen +2 dB und -6 dB die Alternativwörter, also z.B.: Eile statt Seile. Bei dem Signalrauschabstand, bei dem sie die Vokale nicht mehr diskriminieren kann, gibt sie auch für den Vergleich Wort mit /s/-Anlaut gegen Wort ohne /s/-Anlaut "Nicht verstanden" an. Die dritte Teilgrafik enthält das Ergebnis für die /s/-Vexierwörter. Mit Hörgerät erkennt die Pb alle Vexierwörter korrekt, ohne Hörgerät hört sie jedoch einmal ein /s/, obwohl keines dargeboten wurde. Dies kann auf eine momentane Unkonzentriertheit zurückzuführen sein. Allerdings konnten wir dies bei einigen Pbn beobachten, die sehr schwere Hochtonverluste (steiler Abfall ab 1-2 kHz) aufweisen und auch ohne Störgeräusch kaum Frikative hören. Diese sind darauf angewiesen, Frikative aus dem Gesprächskontext zu erschließen. Die Vexierwörter bieten hier die Möglichkeit zur Korrektur des Ergebnisses.

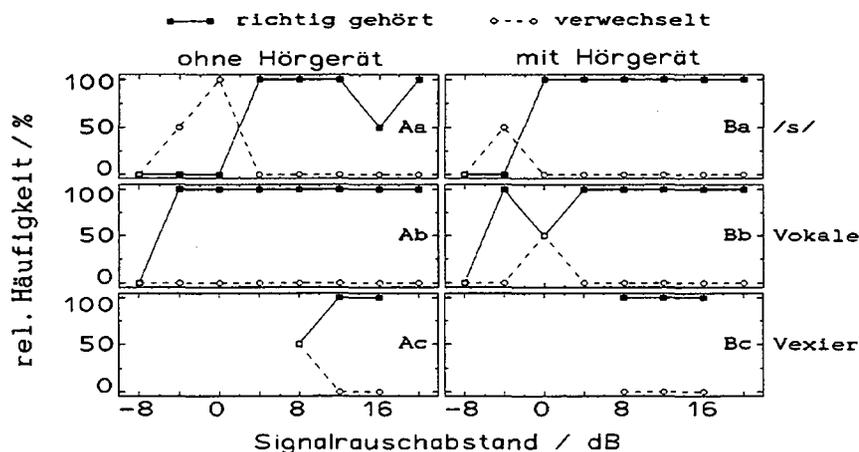


Abbildung 11: A) monaurales Sprachtestergebnis einer 56jährigen Probandin ohne Hörgerät. B) Sprachtestergebnis derselben Probandin mit Hörgerät. a: /s/-Diskrimination, b: Vokaldiskrimination, c: Vexierwortdiskrimination.

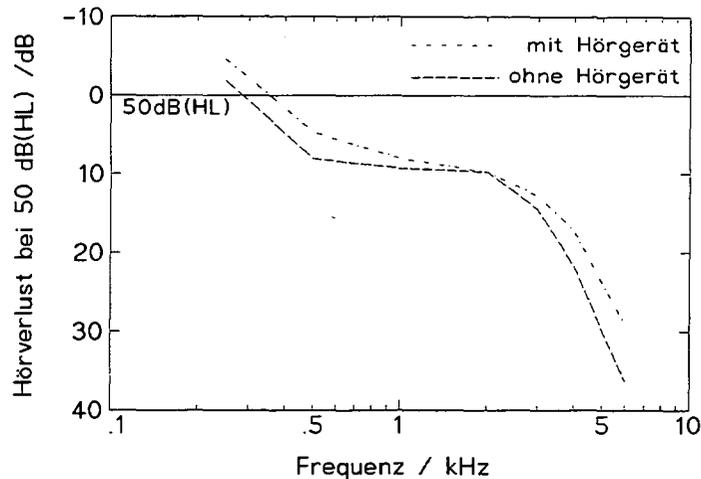


Abbildung 12: Hörverlust in dB bei "mittellaut" (25 Skalenteile im Kategorien-Unterteilungsverfahren) für die Probandin aus Abbildung 11.

III - 4.1.1.5.2 Gruppenergebnis: Hochtonbereich

Für die Klärung des Zusammenhangs zwischen der /s/-Verständlichkeit und dem Hörverlust an der Hörschwelle wurde zunächst die Korrelation des Sprachtestergebnisses für S-natürlich mit dem Hörverlust bei jeder einzelnen gemessenen Frequenz berechnet. Dabei wurden nur monaurale Messungen ohne Hörgerät berücksichtigt, um zusätzliche Varianzquellen - wie z.B. Verzerrungen durch das Hörgerät oder problematische Schallfelder unter dem Kopfhörer - auszuschließen. Sprachtestmessungen außerhalb des Meßbereiches (alle Items oder kein Item korrekt verstanden) wurden ebenfalls nicht berücksichtigt. Als Parameter für den Hörverlust wurde die absolute Hörschwelle verwendet, da in einigen Fällen - aufgrund der fest vorgegebenen Tonserie - zu wenige überschwellige Darbietungen gegeben waren, um an diese eine Lautheitsfunktion anzupassen. In diesen Fällen war zumindest eine Abschätzung des minimalen Schwellenpegels möglich. Diese notwendigen Schätzungen führen aber zu einer höheren Varianz - und damit zu einer niedrigeren Korrelation - als die Auswahl von Pbn, bei denen für alle Frequenzen Lautheitsfunktionen berechnet werden können. Als Parameter für das Sprachtestergebnis wurde der Signalrauschabstand bestimmt, bei dem 50% der /s/ korrekt identifiziert wurden. Die Korrelation wurde über alle Einzelergebnisse bestimmt. In der Abbildung 13 sind die Korrelationskoeffizienten bei den verschiedenen Frequenzen aufgetragen.

Der Hörverlust bei tiefen Frequenzen und die /s/-Verständlichkeitsschwelle sind negativ korreliert. Das heißt, daß das Sprachtestergebnis um so besser ausfällt, je schlechter man tiefe Frequenzen hört. Dies läßt sich aus dem Spektrum des Störgeräusches erklären: es hat seine Hauptenergie bei tiefen Frequenzen und ab 5 kHz sind kaum noch nennenswerte Energieanteile vorhanden. Die Verdeckung des /s/ durch dieses Störgeräusch erfolgt weitgehend durch

die Ausbreitung der Maskierung der tieferen Frequenzen. Hört man die tieferen Frequenzen schlechter, dann ist die Relation zwischen Tiefton- und Hochtonbereich zugunsten des Hochtonbereiches verändert, und es ist weniger Verdeckung wirksam. Erst die Korrelationen mit Frequenzen ab 4 kHz werden positiv. Die letzte Säule des Balkendiagramms trägt dieser Tatsache Rechnung. Bei dieser Korrelation wurde der Beitrag des Hörvermögens unterhalb von 4 kHz zur /s/-Verständlichkeitsschwelle mit einem einfachen Modell herauspartialisiert. Für jeden Pb wurde der mittlere Hörverlust für alle Frequenzen zwischen .25 und 3 kHz bestimmt und vom mittleren Hörverlust bei 4 und 6 kHz abgezogen. Der resultierende Verlustparameter soll ein Maß des tieftonbereinigten, reinen Hochtonverlustes sein. Die Korrelation mit diesem Parameter ist deutlich höher als die Korrelation mit den einzelnen hohen Frequenzen. Die Stärke der Aufwärtsmaskierung des Störgeräusches ist außer von der Isophonenveränderung auch von der Frequenzselektivität abhängig. Diese wird im Ruhehörfeld nicht erfaßt, wodurch die Varianz der Sprachtestergebnisse nicht vollständig durch die Varianz der Hörfeldergebnisse erklärt werden kann.

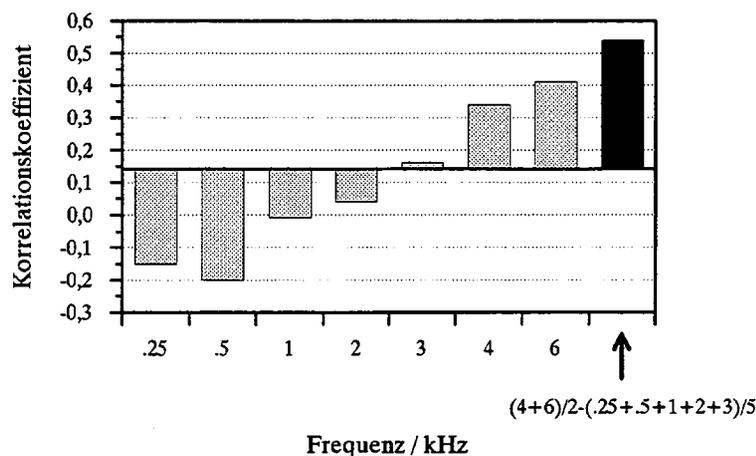
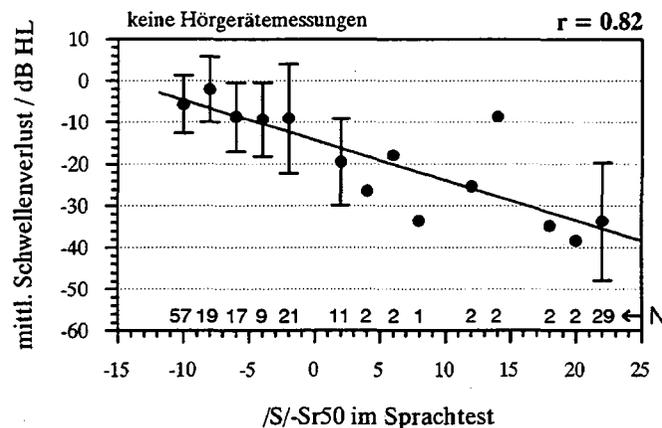


Abbildung 13: Koeffizienten der Korrelation zwischen dem Hörverlust bei einzelnen Frequenzen und der /s/-Verständlichkeitsschwelle im Sprachtest.

Um den allgemeinen Trend, unabhängig von Varianzen des individuellen Antwortverhaltens und der Frequenzselektivität, genauer bestimmen zu können, wurde die Korrelation des tieftonbereinigten Hochtonverlustes mit der /s/-Verständlichkeitsschwelle auch über die Gruppenmittelwerte berechnet. Dies ist in der Abbildung 13 zu sehen. Hier wurden noch die beiden Gruppen hinzugenommen, die alle Items bzw. kein Item korrekt beantwortet hatten. Im ersten Fall wurde die /s/-Verständlichkeitsschwelle mit -10 dB und im zweiten mit +22 dB angesetzt. Die Wahl dieser beiden Schwellen erfolgte konservativ, da besonders in der Gruppe von Pbn, die kein Item richtig verstanden hatten, öfter der Darbietungspegel um wenige dB zu niedrig war und das /s/ damit unter der Ruhehörschwelle lag (dies zeigt die relativ hohe Streuung der mittleren Verluste). Die Lage und Streuung dieser beiden Gruppen zeigt, daß ihre

Berücksichtigung bei der Beurteilung der Testgüte wichtig ist und bei computergesteuerten adaptiven Testversionen mehr Varianzaufklärung bringen muß. Schließt man diese beiden Gruppen in die Korrelation mit ein, beträgt der Korrelationskoeffizient 0.82, ohne sie beträgt er 0.78.



Hörfeld-Parameter: mittlerer Schwellenverlust $\{ = (4+6)/2 - (.25 + .5 + 1 + 2 + 3)/5 \}$
 Sprachtest-Parameter: Signalrauschabstand mit 50%-/s/-Verständlichkeit

Abbildung 14: Korrelation der gemittelten Hörschwellenverlustparameter je Sprachtestergebnisgruppe mit dem Signalrauschabstand mit 50% /s/-Verständlichkeit. Streuungsbalken: Standardabweichung. Korrelation: 0.82 (ohne die geschätzten Randgruppen bei -10 und +22 dB SR: 0.78).

III - 4.1.1.5.3 Gruppenergebnis: Tiefton- und Mitteltonbereich

Wie oben schon erwähnt wurde, fand die Einstellung der Testwortlautstärke in Ruhe mit einer Auswahl von Vokalbereichswörtern statt. Der Energieschwerpunkt der Spektrogramme der verwendeten Wörter liegt im Bereich von 1 kHz. Es ist also zu prüfen, ob es einen Zusammenhang zwischen dem eingestellten Testwortpegel und dem Hörverlust in diesem Frequenzbereich gibt. Die Testwortpegel waren zwischen 70 dB und 90 dB in 5 dB-Stufen variierbar. Bei dieser Pegelstufung ist mit einer etwas höheren Streuung zu rechnen, die vom momentanen Störgeräuschpegel in der Testraumumgebung und der individuellen Hörgewohnheit (manche hören lieber etwas leiser, andere etwas lauter) abhängt. Um bei der Berechnung des mittleren Hörverlustes im interessierenden Frequenzbereich die spektrale Hüllkurve der Testwortvokale zu berücksichtigen, wurden die Schwellenhörverluste (dB HL) bei den Frequenzen .5, 1 und 2 kHz gewogen gemittelt, wobei 1 kHz doppelt gewichtet wurde. Der Zusammenhang zwischen dem Testwortpegel und dem mittleren Schwellenverlust zwischen .5 und 2 kHz ist in der Abbildung 15A aufgezeigt. Zusätzlich ist in Abbildung 15B der Zusammenhang zwischen dem tieftonbereinigten Hochtonverlust mitgeteilt. Diese Auswertung erfolgte über alle Messungen, da hier die oben berücksichtigten Varianzquellen nur eine untergeordnete Rolle spielen dürften.

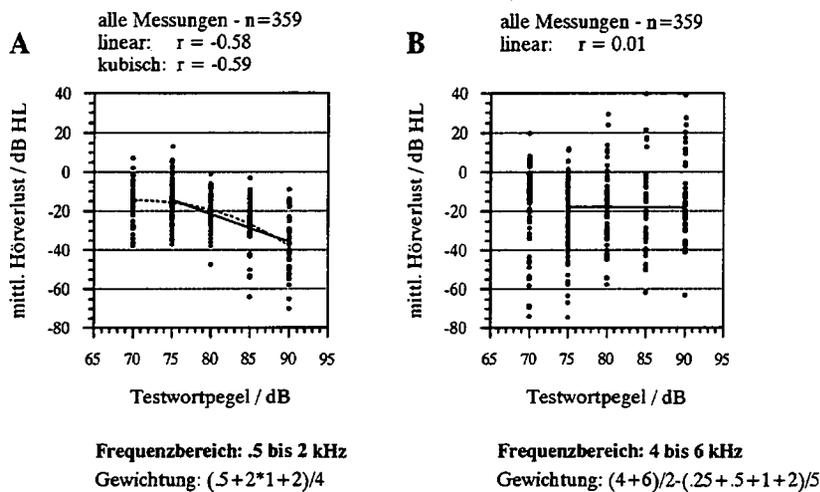


Abbildung 15. A) Zusammenhang zwischen Testwortpegel und Hörverlust im Tieftonbereich. B) Zusammenhang zwischen Testwortpegel und tieftonbereinigtem Hörverlust im Hochtonbereich.

Wie der Abbildung 15A zu entnehmen ist, besteht offenbar erst ab 75 dB Testwortpegel ein Zusammenhang zwischen dem notwendigen bzw. bevorzugten Testwortpegel und dem Hörverlust im Frequenzbereich zwischen .5 und 2 kHz. Deshalb wurde eine kubische Trendermittlung über alle Wortpegel und eine lineare Trendermittlung zwischen 75 und 90 dB vorgenommen. Beide haben die gleiche Größenordnung und zeigen einen deutlichen Zusammenhang auf. Wichtig ist, daß kein Zusammenhang zwischen dem Testwortpegel und dem reinen Hochtonverlust besteht, wie dies Abbildung 15B belegt. Die sogenannte Tieftonbereinigung muß deshalb vorgenommen werden, da in sehr vielen Fällen Hochtonschrägabfälle mit deutlicher Beeinträchtigung auch des Tiefton- und Mitteltonbereiches vorliegen. Dies hätte jedoch zur Folge, daß diese Varianz zur Korrelation beitragen würde.

Nachdem sich der Zusammenhang des individuellen Testwortpegels mit dem Hörverlust der tiefen Frequenzen bestätigt hat, sollte die Differenz zwischen Normwortpegel und individuell eingestelltem Pegel ausreichen, um die oben erwähnte Bereinigung der Hochtonvarianz von der Tieftonvarianz vornehmen zu können. Der Normwortpegel von 70 dB wurde auf 75 dB hochgesetzt, da erst ab 75 dB ein Zusammenhang mit dem Tieftonverlust besteht. In der Abbildung 16 wird ein Vergleich zwischen dem Wortpegelkorrekturmodell und dem Schwellenverlustmodell vorgenommen. In die Korrelation sind die Einzeldaten aller monauralen Messungen ohne Hörgerät eingegangen, und die beiden Randgruppen (alle Items bzw. kein Item verstanden) wurden ebenfalls mit aufgenommen.

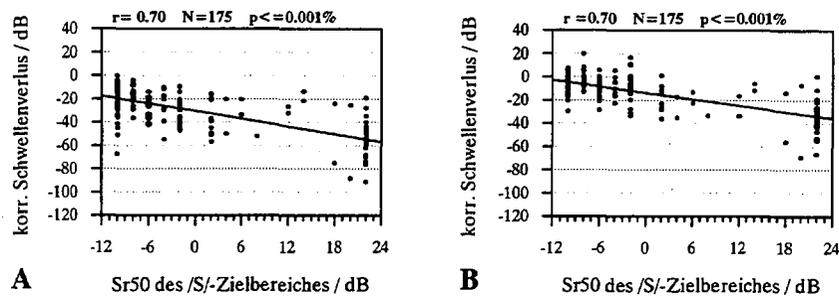


Abbildung 16. Zusammenhang zwischen /s/-Verständlichkeitsschwelle und tiefenkorrigiertem Hochtönlörverlust. A) Korrigiert mit der Differenz zwischen Normwortpegel und individuellem Testwortpegel [Verlust(4+6)/2-(75-Wortpegel)]. B) Korrigiert mit den im Kurzhörfeld bestimmten Schwellenverlusten [Verlust(4+6)/2-Verlust(.25+.5+1+2+3)/5].

Der Vergleich beider Korrekturmodelle bestätigt, daß mit der Einstellung des Testwortpegels für Wörter des Vokalbereiches eine Abschätzung des Tieftönverlustes vorgenommen werden kann. Die grobe Bestimmung des Tieftönverlustes über den globalen Testwortpegel mit nur 5 dB-Stufen zeigt im Vergleich zu der differenzierten Verlustbestimmung im Kurzhörfeld eine etwas höhere Intragruppenstreuung der einzelnen /s/-Verständlichkeitsschwellengruppen, aber die Varianzaufklärung ist mit jeweils 49% gleich hoch.

III - 4.1.1.6 Diskussion der Ergebnisse

Die Veränderung des Testkonzepts hat gegenüber früheren Versionen eine deutliche Verbesserung der Testökonomie gebracht. Inklusive Instruktion werden für eine Messung zwischen 8 und 10 Minuten benötigt. Der Testaufbau erlaubt einen Einblick in das individuelle Testverhalten eines Probanden, d.h. man kann z.B. beurteilen, ob das Entscheidungskriterium eher niedrig oder hoch liegt oder ob ein Testwort in seiner Gesamtheit oder nur bezüglich des Unterschiedes der beiden vorgegebenen Alternativen beantwortet wird. Der Parameter Testwortpegel liefert eine gute Abschätzung des Hörverlustes bis 2 kHz, und trotz der Störvariable Frequenzauflösungsvermögen gibt es einen guten Zusammenhang zwischen dem Signalrauschabstand, bei dem 50 Prozent der /s/- Wörter korrekt erkannt werden, und dem Hörverlust bei hohen Frequenzen. Da im Sprachtest vor allem die Relation des Hörvermögens zwischen Hochtön- und Tieftönlörvermögen geprüft wird, kann durch die Berücksichtigung des Wortpegels eine gute Interpretation des Hochtönlörvermögens geleistet werden. Es ist kritisch anzumerken, daß mit der Festlegung der Signalrauschabstandsserie für die Darbietung über DAT-Recorder eine Vielzahl von Pbn nicht erfaßt werden konnte. Die Serie war für leichte bis mittelschwere Verluste ausgelegt und konnte minimale und starke Schädigungen nicht mehr auflösen. Es muß also künftig wieder auf eine Vortest-Haupttest-Aufteilung zurückgegriffen werden, die es erlaubt in kurzer Zeit den relevanten Meßbereich zu ermitteln und diesen dann mit einem angepaßten Haupttest genauer zu untersuchen. Dazu wäre eine individuelle Serienzusammenstellung durch computergesteuerte Darbietung einer Bandversion vorzuziehen.

III - 4.1.2 Bedeutung der Konsonant-Vokal-Transienten im Sprachtest

In der letzten Testversion waren durch die Konstruktion der S-künstlich-Wörter die Frikativ-Vokal-Transienten als Hinweis auf den Frikativ entfernt worden, um eine direkte Beurteilung des Hochtonhörvermögens zu erlauben. In zusätzlichen Experimenten, die im Sommer 1992 durchgeführt wurde, wurde der Einfluß dieser Transienten auf die S-Verständlichkeit bei Störgeräusch untersucht. Dazu wurde mit Hilfe eines starken Tiefpaßfilters bei normalhörigen Studenten eine Hochtonschwerhörigkeit simuliert. Die Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters lag bei 2 kHz und die Flankensteilheit betrug ca. 25 dB/Oktave. Die Wirksamkeit des Filters wurde mit einer Darbietung ohne simultanes Störgeräusch geprüft. Dabei konnte man im Testmaterial kein klares /s/ mehr hören. Der Beitrag der Frikativ-Vokal-Transitionen wird aus dem Vergleich zwischen den SRT bei S-natürlich und S-künstlich ermittelt. Sind die Transitionen ohne Bedeutung für die Erkennung des Frikativs, müssen sich die SRTs entsprechen, je größer ihr Beitrag ist, umso besser muß der SRT für S-natürlich gegenüber S-künstlich ausfallen. Zusätzlich wird geprüft, inwieweit die Transitionen auch dann noch wirken, wenn der Frikativ aus dem Wort entfernt wurde, und sie die einzige Informationsquelle für das Vorhandensein eines Frikativs darstellen.

III - 4.1.2.1 Methode

III - 4.1.2.1.1 Aufnahme

Um die Vergleichbarkeit aller Testwörter zu gewährleisten, wurden alle Wörter (inklusive der bereits vorhandenen) vom selben Sprecher neu aufgesprochen. Die Aufnahme-prozedur entsprach der oben besprochenen. Das Störgeräusch blieb unverändert.

III - 4.1.2.1.2 Testaufbau

Für die Untersuchung der Fragestellung wurde der Sprachtest um zwei Wortbedingungen erweitert. Bisher wurde die Vokaldiskrimination (**Vokale**, verdeutlicht durch großgeschriebene Testwörter: *Eile*), die /s/-Diskrimination bei Wörtern ohne /s/-Vokal-Transient (**S-künstlich**, verdeutlicht durch großgeschriebenes S vor großgeschriebenem Wort: *SEile*) und das Entscheidungsverhalten des Pb bei Wörtern ohne /s/-Anlaut, wenn nach dem Vorhandensein eines /s/ gefragt wird (**S-Vexier**, verdeutlicht durch großgeschriebene Testwörter: *Eile*), geprüft. Analog zu den letzten beiden Bedingungen wurde nun auch die /s/-Diskrimination bei Wörtern mit natürlichen /s/-Vokal-Transienten (**S-Natürlich**, verdeutlicht durch großgeschriebene Testwörter: *Seile*) und bei Wörtern, denen unter Erhaltung der Transienten der /s/-Anlaut entfernt worden war (**S-Transient-Vexier**, verdeutlicht durch kleingeschriebene Testwörter: *eile*), untersucht. Für S-natürlich und S-künstlich werden bei jedem Signalrauschabstand (SR) die gleichen Wörter verwendet. Die Pegel der /s/-Anlaute innerhalb der Wörter bei S-künstlich sind dabei exakt an die der korrespondierenden Wörter bei S-natürlich angeglichen,

damit unterschiedliche Verständlichkeiten der beiden Wortgruppen nicht auf eventuell vorhandene Energiedifferenzen zurückgeführt werden können.

Der Test ist in einen Vortest mit 30 Items und einen Haupttest mit 105 Items aufgeteilt. Im Vortest wird der Übergang von 100 zu 0 Prozent Verständlichkeit mit jeweils 2 Wörtern bei den Bedingungen Vokale, S-natürlich und S-Transient-Vexier bei 5 SR (+5, 0, -5, -10 und -15 dB) ermittelt. Die Zuordnung der Testwörter zu den SR kann Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2. Zuordnung der Testwörter zu den Signalrauschabständen im Vortest.

S/R	-15 dB	-10 dB	-5 dB	0 dB	5 dB
Vokale	Nein	Eule	Eier	Nein	Eile
	Ahne	Ahne	Ohne	Neun	Warte
S-natürlich	Sein	Säule	Seier	Sein	Seile
	Sahne	Sahne	Sorte	Säule	Saal
S-Transient-Vexier	eier	eule	eier	ein	ein
	ahne	ahne	orte	eule	orte

Tabelle 3. Zuordnung der Testwörter zu den Signalrauschabständen im Haupttest

S/R	schwer	...	...	...	leicht
Vokale	Nein	Eule	Eier	Nein	Eule
	Ahne	Ahne	Worte	Euer	Ahne
	Eile	Eier	Eule	Eile	Eier
	Worte	Worte	Ahne	Warte	Neun
	Euer	Neun	Neun	Ohne	Worte
S-natürlich	Seile	Sein	Seile	Seile	Sein
	Sahne	Sahne	Sahne	Sahne	Sahne
	Seier	Seier	Sein	Seier	Seier
	Säule	Säule	Säule	Säule	Säule
	Sorte	Sorte	Sorte	Sorte	Sorte
S-Transient-Vexier	eier	ein	ein	eier	ein
	ahne	orte	ahne	ahne	orte
	eule	eule	orte	eule	eule
S-künstlich	SEile	SEin	SEile	SEile	SEin
	SAhne	SAhne	SAhne	SAhne	SAhne
	SEier	SEier	SEin	SEier	SEier
	SEule	SEule	SEule	SEule	SEule
	Sorte	Sorte	Sorte	Sorte	Sorte
S-Vexier	Eier	Ein	Ein	Eier	Ein
	Ahne	Orte	Ahne	Ahne	Orte
	Eule	Eule	Orte	Eule	Eule

Anhand des Vortestergebnisses wird der SR-Abstandsbereich für jede Wortbedingung im Haupttest festgelegt, wobei die Stufung der SR im Normalfall 3 dB beträgt. Die Zuordnung der Testwörter zu den SR kann Tabelle 3 entnommen werden. In der Kopfzeile ist nur die relative Schwierigkeit (schwer bis leicht) angegeben, da die aktuell eingestellten SR vom individuellen Vortestergebnis abhängen.

Die dem Pb vorgegebenen Antwortalternativen für jede Wortbedingung waren (in Klammer steht das dargebotene Item):

Vokale: Ahne-Ohne (Ahne bzw. Ohne), Warte-Worte (Warte bzw. Worte), Eile-Eule (Eile bzw. Eule), Eier-Euer (Eier bzw. Euer), Nein-Neun (Nein bzw. Neun).

S-natürlich: Seile-Eile (Seile), Seier-Eier (Seier), Säule-Eule (Säule), Sorte-Orte (Sorte), Sahne-Ahne (Sahne), Sein-Ein (Sein).

S-künstlich: Seile-Eile (SEile), Seier-Eier (SEier), Säule-Eule (SEule), Sorte-Orte (SORte), Sahne-Ahne (SAhne), Sein-Ein (SEin).

S-Transient-Vexier: Seier-Eier (eier), Sahne-Ahne (ahne), Säule-Eule (eule), Sein-Ein (ein), Sorte-Orte (orte)

S-Vexier: Seier-Eier (Eier), Sahne-Ahne (Ahne), Säule-Eule (Eule), Sein-Ein (Ein), Sorte-Orte (Orte).

Zusätzlich konnte mit ??? und **nichts gehört** geantwortet werden, wobei die Fragezeichen bedeuten, daß man zwar ein Wort im Stimmengewirr gehört hat, aber nicht verstehen konnte, welches es war.

III - 4.1.2.1.3 Versuchspersonen

Versuchspersonen (Vpn) waren 42 normalhörige Studenten aus dem Psychologiegrundstudium. Darunter waren 24 Männer und 18 Frauen, das Durchschnittsalter betrug 22 Jahre. Die Vpn erhielten für ihre Teilnahme eine Bescheinigung, die auf ihre Pflichtstunden angerechnet wurde.

III - 4.1.2.1.4 Testablauf

Zunächst wird auch hier die Testwortlautstärke für "angenehme Lautstärke bei guter Verständlichkeit" eingestellt. Alle Testwörter werden mit dieser Lautstärke dargeboten und die verschiedenen Signalausabstände über die Pegelvariation des Stimmengewirrs hergestellt.

In der Instruktion wurde den Vpn mitgeteilt, daß es sich um eine Simulation von Schwerhörigkeit handelt, und sich das Testmaterial etwa so anhört, wie es bei bestimmten Schwerhörigkeiten klingt.

Anschließend wurde der Vortest durchgeführt und ausgewertet. Die getesteten Wortbedingungen wurden im Haupttest dem Ergebnis entsprechend eingestellt, die nicht getesteten Bedingungen: S-künstlich und S-Vexier wurden analog der Bedingungen S-natürlich und Vokale justiert.

Die Dauer der Untersuchung inklusive Instruktion, Vortest und Haupttest betrug ca. 35 Minuten.

III - 4.1.2.2 Ergebnisse

Bei der Auswertung wurden drei Vpn-Gruppen gebildet. Dies wurde notwendig, da sich die Vpn in ihrer Testleistung unterschieden, d.h. sie hatten den Übergang von 100 Prozent verstanden zu 0 Prozent verstanden bei unterschiedlichen Signalrauschabstandsbereichen. Eine Mittelung der Ergebnisse aller Vpn würde zu verfälschten, äußerst flachen Übergangsfunktionen führen.

Generell ist festzustellen:

- 1) Nur äußerst selten wurden S-künstlich-Wörter korrekt verstanden, wobei keine Verständlichkeitsfunktion feststellbar war. Gruppe 1: max. 8%, Gruppe 2: max. 15%, Gruppe 3: max. 33%. Dieses Ergebnis bestätigt die Hochfrequenzspezifität der S-künstlich-Wörter. Die hochfrequente Energie des /s/ wird durch die Tiefpaßfilterung eliminiert und es sind keine anderen Hinweise auf die Anwesenheit eines Frikativs gegeben.
- 2) Für S-natürlich waren durchweg Verständlichkeitsfunktionen bestimmbar. Die Signalrauschabstände für 50 Prozent Verständlichkeit (SRT) waren für Gruppe 1: -3 dB, Gruppe 2: -7 dB, Gruppe 3: -9 dB. Trotz der, wie die Ergebnisse bei S-künstlich zeigen, erfolgreichen Unterdrückung des /s/-Rauschbandes werden die Frikativ-Anlaute der Wörter gehört. Dies kann nur auf die vorhandenen Transitionen zurückgeführt werden. Die SRT der drei Gruppen bedeuten zwar Verluste von 15 dB, 11 dB und 9 dB gegenüber der vorläufig bestimmten Norm (-18 dB SR) für den Frikativ /s/, aber der tatsächliche Verlust im Hochtonbereich liegt höher. Betrachtet man nur den SRT für S-natürlich, werden Hörverluste im hochfrequenten Bereich unterschätzt.
- 3) Bei S-Transient-Vexier traten bei allen Gruppen Verwechslungen auf. D.h. es wurden die Wortalternativen mit dem /s/-Anlaut geantwortet, obwohl die Wörter kein /s/ enthielten, sondern nur die /s/-Vokal-Transienten noch vorhanden waren. Diese Verwechslungen nahmen mit zunehmender Itemschwierigkeit (ungünstigere Signalrauschabstände) ab und sind in ihrem Verlauf mit den Verständlichkeitsfunktionen bei S-natürlich vergleichbar.
- 4) Bei S-Vexier waren ebenfalls /s/-Antworten zu verzeichnen, die aber gegenüber S-Transient-Vexier mit abnehmendem Störgeräuschpegel zurückgehen. Da die Frikative nicht an ihrem charakteristischen hochfrequenten Rauschband erkannt werden können, sondern aufgrund des eher sekundären und schwachen Merkmals Formanttransition, muß

im Sinne der Signal-Entdeckungstheorie das Entscheidungskriterium niedrig angesetzt werden und es kommt auch vermehrt zu **falsch positiven** Antworten.

Abbildung 17 zeigt exemplarisch das Ergebnis der Gruppe 2.

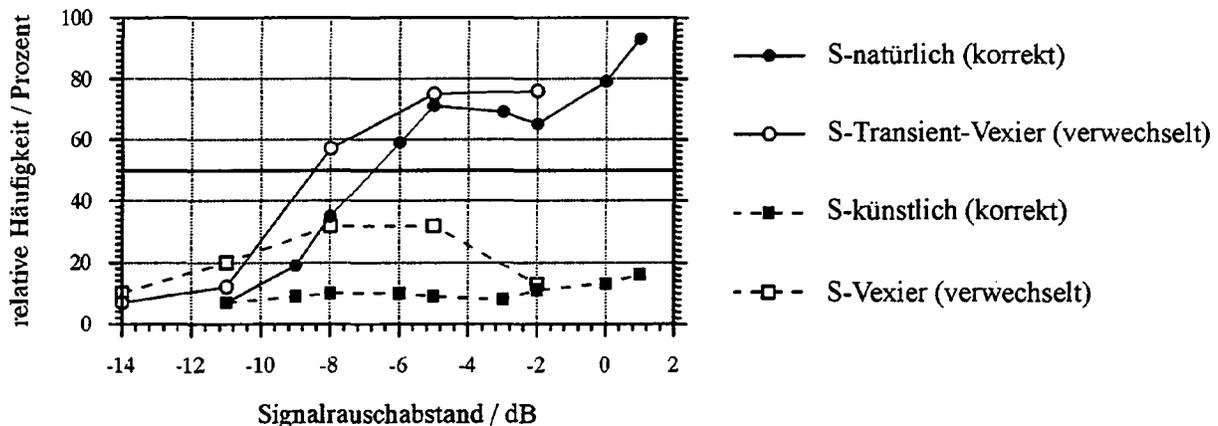


Abbildung 17. Relative prozentuale Häufigkeit der /s/-Antworten in den Bedingungen **S-natürlich** (korrekte Antworten), **S-Transient-Vexier** (Verwechslungen), **S-künstlich** (korrekte Antworten) und **S-Vexier** (Verwechslungen) bei der Gruppe 2. Für die Berechnung der Gruppenmittelwerte wurde ein gleitendes Mittel mit 3-gliedrigem Ausgleich berechnet.

III - 4.1.2.3 Diskussion der Ergebnisse

Auch wenn die Simulation der Schwerhörigkeit nur mit einem sehr einfachen Modell erfolgte, wird doch deutlich, daß die Konsonant-Vokal-Transienten auch bei Frikativen einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zur Wortverständlichkeit leisten. Die transientlosen /s/-Wörter wurden nur unsystematisch korrekt verstanden, was auf die fast vollständige Eliminierung der hohen Frequenzanteile zurückzuführen ist. Dies zeigt die Hochfrequenzspezifität dieser Wortbedingung deutlich auf. Die natürlichen S-Wörter werden - trotz ihres nahezu identischen /s/-Anlautes - ohne Probleme korrekt verstanden. Da die S-Transientvexierwörter annähernd den gleichen Verlauf der Häufigkeit von S-Antworten (in dieser Wortbedingung werden S-Antworten als Verwechslungen registriert!) zeigt, wird die bessere S-Verständlichkeit auf die S-Vokal-Transienten zurückgeführt.

Es fällt auf, daß sowohl bei S-Transient-Vexier als auch bei S-Vexier häufiger Wörter mit /s/-Anlaut geantwortet werden als in den Bedingungen, in denen tatsächlich ein /s/ dargeboten wird. Dies kann man aber nicht so interpretieren, daß die Vpn eine generelle Tendenz hätten, unabhängig von der jeweiligen Darbietung die Alternative mit /s/-Anlaut zu wählen, da eine derartige Antworttendenz zu deutlich höheren S-Verständlichkeiten bei S-künstlich führen müßte. Die Ergebnisse für S-künstlich zeigten, daß die hochfrequente Energie des /s/ als Informationsquelle effektiv ausgeschaltet werden konnte. Dies bedeutet aber auch, daß die bei-

den Wortgruppen S-natürlich und S-Transient-Vexier als gleich betrachtet werden müssen. Die Übereinstimmung der Verläufe der S-Antworten (im Fall S-natürlich sind dies korrekte Antworten, im Fall S-Transient-Vexier sind dies "Verwechslungen") ist demnach eine starke Bestätigung für den Beitrag der Frikativ-Vokaltransitionen zur Frikativverständlichkeit. Zumindest in den Fällen, in denen durch die Übertragungsbedingungen oder eine Schwerhörigkeit die hochfrequente Energie der Frikative nicht gehört werden kann. Für die Wörter in der Bedingung S-Vexier liegen die Verhältnisse anders. Prinzipiell ist festzustellen, daß die Frikativediskrimination nur aufgrund des eher sekundären und schwächeren Merkmals Vokaltransition geleistet werden kann. Das bedeutet, daß die Ähnlichkeit zwischen den Alternativen zunimmt und im Sinne der Signalentdeckungstheorie das Entscheidungskriterium entsprechend niedriger angesetzt werden muß, damit Frikative überhaupt gehört werden können. Die stärkere Überlappung der beiden Verteilungen führt damit aber auch zu einer erhöhten Anzahl von falsch-positiven Antworten. Für diese Interpretation spricht, daß die maximale Anzahl an falsch-positiven Frikativ-Antworten dort liegt, wo 50% der Frikative korrekt erkannt werden. Bei größerer oder niedrigerer Schwierigkeit (höherer oder niedrigerer SR) nehmen die falsch-positiven Antworten wieder deutlich ab.

Aus diesen Ergebnissen haben wir deshalb den Schluß gezogen, daß erstens die Hochfrequenzspezifität bei S-künstlich gegeben ist und zweitens die simultane Verwendung der S-natürlich eine alltagsnähere Beurteilung der Frikativverständlichkeit eines Probanden erlaubt. Ein Vergleich zwischen diesen beiden Schwellen und der Häufigkeit der S-Antworten bei S-Transient-Vexier kann zeigen, wie stark der Pb bei der Verständigung auf die Konsonant-Vokal-Transienten angewiesen ist und wie gut er diese nutzen kann.

Zusätzlich hat Armin Stock im Rahmen seiner Dissertation weitere Versuche durchgeführt, die den Beitrag der Frikativ-Vokaltransitionen und ihre Spezifität für das jeweilige Phonem zeigen. Durch Änderungen des Versuchsaufbaus (weißes Rauschen als Störgeräusch und Verzicht auf Tiefpaßfilterung) konnten sowohl für S-natürlich als auch für S-künstlich individuelle Übergangsfunktionen gemessen werden und die Differenz quantitativ bestimmt werden. Die Dissertation wird 1996 veröffentlicht werden.

III - 4.2 Reihenuntersuchungen zur Validität der Hochton- und Tieftonspezifität

Von September bis Ende November 1993 wurden mit dem Audiomobil eine größere Anzahl an Personen untersucht. Es wurden Schwellenmessungen, Mithörfeldmessungen und Sprachtestmessungen durchgeführt. Die erste große Serie an Untersuchungen wurde im Rahmen der Mainfrankenmesse 1993 in Würzburg erhoben. Für diese Messungen wurde das Audiomobil an einem eher ruhigen Platz am Ende des Messegeländes aufgestellt und über die Würzburger Tageszeitungen auf seine Anwesenheit und die kostenlose Möglichkeit zur Gehörüberprüfung aufmerksam gemacht. Auf der Messe wurden an 10 Tagen insgesamt 405 Pbn hörfeldaudiometrisch und/oder sprachaudiometrisch untersucht. Zusätzlich wurde aufgrund der großen Nachfrage vor dem Audiomobil eine kurze Schwellenmessung durchgeführt, an der weitere 453 Pbn (835 Messungen) teilnahmen, deren Aussagekraft aber aufgrund des erheblichen

Störlärms nicht hoch ist. Bedeutsame Schwerhörigkeiten konnten jedoch erkannt werden und die Pbn wurden zur genauen Untersuchung an ihren HNO-Arzt verwiesen.

Im Anschluß an die Messe und die Kurzauswertung der Tests wurde das Audiomobil an drei verschiedenen Standorten für jeweils 3-4 Tage in der Stadt Würzburg aufgestellt und wiederum in den Würzburger Tageszeitungen auf die kostenlose Möglichkeit zur Gehörüberprüfung aufmerksam gemacht. In diesem Rahmen wurde noch einmal 62 Pbn mit Mithörfeld, Hörschwelle und Sprachtest untersucht.

III - 4.2.1 Mainfrankenmesse 1993

Um möglichst viele Pbn in der zur Verfügung stehenden Zeit untersuchen zu können, wurde eine Kurzversion des Sprachtests erstellt, die die Wortgruppen S-natürlich und S-künstlich zur Bestimmung des Hörvermögens oberhalb von 3 kHz und die Wortgruppe Vokale zur Bestimmung des Hörvermögens unterhalb von 3 kHz umfaßt.

Die Hörfeldaudiometrie ist wegen des niedrigeren Schallpegels (50 dB) des simultan gebotenen Störgeräusches im Mithörfeld und des verwendeten offenen Kopfhörers AKG K1000 (maximale Abklappung der Lautsprecher) anfälliger für fluktuierenden Umgebungslärm und benötigt auch eine längere Meßdauer. Aus diesem Grund entschieden wir uns dazu, die Messung des Mithörfelds in der schallgedämpften Kabine durchzuführen, und die Mehrzahl der Sprachtestmessungen im Audiomobilvorraum, der zwar einen höheren Geräuschpegel aufweist, der sich aber aufgrund des 70 dB lauten simultanen Störgeräuschs nicht so stark auswirken kann, durchzuführen. Als weitere Maßnahme zur Reduktion des Einflusses von Außenlärm wurde statt des offenen Kopfhörers AKG K1000 ein geschlossener Kopfhörer vom Typ Beyer DT770 eingesetzt. Dieser zeichnet sich durch ein großes Volumen aus, so daß die Unterschiede der individuellen Gehörgangsgröße keinen Einfluß auf den erzeugten Schallpegel haben können.

In der Kabine werden die Tests über einen Atari STE Computer gesteuert und über einen AD/DA-Wandler auf den Kopfhörerverstärker K1000 Amplifier gegeben. Es wurde zwei von der Firma AKG für uns modifizierte Exemplare des AKG K1000 eingesetzt, die sich dadurch auszeichnen, daß die Originallautsprecher nur auf der linken oder rechten Seite angebracht sind und sich auf der jeweils gegenüberliegenden Seite die Kapsel eines geschlossenen Kopfhörers AKG K270 befindet, die eine bessere Abschottung des Nichttestohres gewährleistet. Auf diese Weise sollen mögliche Fehlmessungen bei asymmetrischem Gehör minimiert werden. Der Computer befindet sich aufgrund der Festplatten- und Lüftergeräusche in einer schallgedämpften Box im Vorraum. Lediglich Tastatur, Monitor und AD/DA-Wandler befinden sich in der Kabine.

Im Vorraum werden Sprachtest und Hörschwellenmessung von einem DAT-Rekorder aus abgespielt. An die Line-Ausgänge des DAT-Rekorders ist ein Kopfhörerverstärker (Eigenentwicklung) angeschlossen, der auf eine kalibrierte Wiedergabe eingestellt ist. Zusätzlich können über ihn die Kanal-Ohrzuordnung (links, rechts, binaural) und eine generelle Pe-

gelerhöhung um 5 dB oder 10 dB eingestellt werden. Die Auswertung des Sprachtests erfolgt über einen Atari-Laptop-Computer.

III - 4.2.1.1 Schwellenmessung

Um die Meßzeit möglichst kurz zu halten, und eine Schwellenmessung auch mit einem DAT-Rekorder durchführen zu können, wurden vier Tonserien (500 Hz-, 1600-Hz-, 4000-Hz- und 6300 Hz-23%-Rauschen) mit jeweils 10 absteigenden Pegelstufen verwendet. Der Maximalpegel der Rauschen betrug 80 dB SPL und nahm in Stufen von 6 dB ab. Die Geräuschkdauer betrug 1.5 Sekunden mit einer Pause von 1 Sekunde zwischen den Darbietungen. Die Aufgabe der Pbn war es, jeweils die Anzahl der gehörten Geräusche anzugeben. Als Schwellenwert wurde der mittlere Schallpegel zwischen dem letzten gehörten und dem ersten nicht gehörten Geräusch genommen. Wurde auch das leiseste Geräusch mit einem Schallpegel von 26 dB SPL noch gehört, wurde die Schwelle als kleiner (<) 26 dB registriert. Wurde schon das erste lauteste Geräusch nicht gehört, wurde der Verstärker auf +10 dB gestellt, und getestet, ob es bei 90 dB hörbar war. Generell wurde in diesem Fall die Schwelle als größer (>) 80 dB registriert.

III - 4.2.1.2 Sprachtest

Als Störgeräusch wurde ein weißes Rauschen mit einem Schallpegel von 70 dB SPL eingesetzt. Der Störgeräuschpegel wurde konstant gehalten und die Signalrauschabstände durch Variation der Wortpegel hergestellt. Das weiße Rauschen wurde deshalb gewählt, da bei diesem Störgeräusch die Nutzung der Frikativ-Vokaltransienten begünstigt wird.

Im Test werden die /s/-Diskrimination mit den Wortgruppen S-natürlich und S-künstlich zur Bestimmung des Hochtonverlusts und die Vokaldiskrimination zur Bestimmung des Tief- bzw. Mitteltonverlustes gemessen. Zusätzlich wird die Wortgruppe S-Vexier zur Kontrolle des generellen Antwortverhaltens eines Pb abgefragt.

Der Test ist in drei Teile gegliedert. Zuerst werden drei deutlich hörbare Items zur Demonstration der Aufgabe vorgespielt. Dies sind die jeweils lautesten Wörter der drei Wortgruppen S-natürlich, S-künstlich und Vokale. Traten schon hier Schwierigkeiten auf, d.h. wurden nicht alle vier Items korrekt beantwortet, wurde der Test nur dann komplett durchgeführt, wenn der anschließende Vortest zu einem sinnvollen Ergebnis führte. Der Vortest bestand aus 4 Items zum Signalrauschabstand (SR) 0 dB, wobei 2 Items aus S-natürlich und 2 Items aus S-künstlich verwendet wurden.

Der Haupttest war in drei unterschiedliche Versionen aufgeteilt: "leicht", "mittel" und "schwer". Die "leichte" Version umfaßte die SR von +20 dB bis +4 dB in 2 dB-Stufen für S-künstlich, +20 bis 0 dB in 2 dB-Stufen für S-natürlich und +20 bis -16 dB in 4 dB-Stufen für die Vokale. Die "mittlere" Version umfaßte die SR von +10 dB bis -6 dB in 2 dB-Stufen für S-künstlich, +10 bis -10 dB in 2 dB-Stufen für S-natürlich und +10 bis -18 dB in 4 dB-Stufen

für die Vokale. Die "schwere" Version umfaßte die SR von 0 dB bis -14 dB in 2 dB-Stufen für S-künstlich, 0 bis -20 dB in 2 dB-Stufen für S-natürlich und 0 bis -20 dB in 4 dB-Stufen für die Vokale. Die Zuordnung der Testwörter zu den SR kann Tabelle 4 entnommen werden. Da die SR der drei Schwierigkeitsgrade symmetrisch um 0 dB SR angeordnet waren, konnte anhand des Vortests bei 0 dB SR entschieden werden, welcher Schwierigkeitsgrad individuell angemessen war. Dies war z.B. der "schwere" Test, wenn alle Items korrekt gehört wurden, der "leichte" Test, wenn alle Items falsch oder gar nicht gehört wurden und der "mittlere" Test, wenn zwei Wörter nicht erkannt wurden.

Tabelle 4. Aufbau der drei Haupttests (Abkürzungen: SR=Signalrauschabstand, Sn=S-natürlich, Sk=S-künstlich, Vok=Vokale, Vex=S-Vexier, n=Items je Wortgruppe, nn=Items je Testversion)

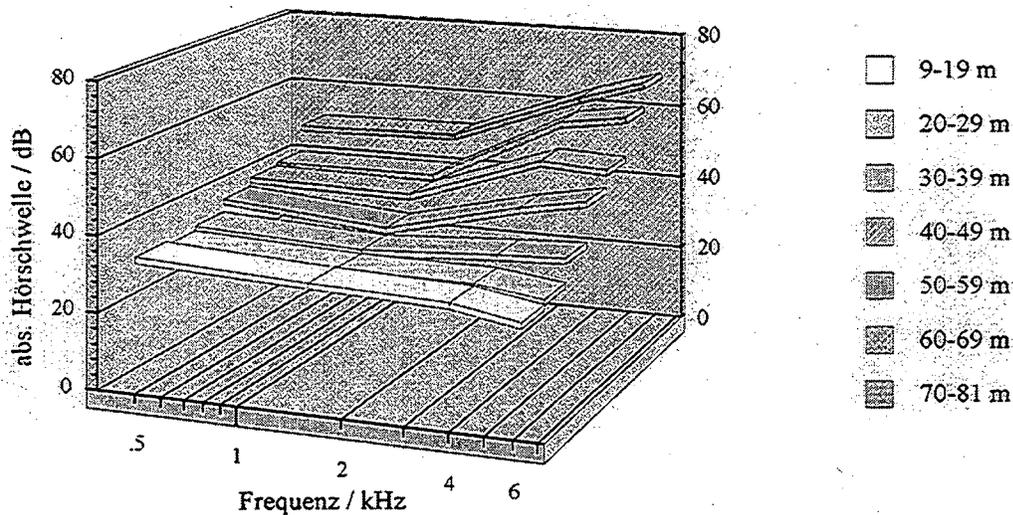
SR	"leichte" Version				"mittlere" Version				"schwere" Version			
	Sn	Sk	Vok	Vex	Sn	Sk	Vok	Vex	Sn	Sk	Vok	Vex
20	Sorte	SOrte	Worte									
18	Seier	SEier		Eier								
16	Säule	SEule	Eule									
14	Sorte	SOrte		Orte								
12	Säule	SEule	Eule									
10	Seier	SEier		Eier	Sorte	SOrte	Worte					
8	Sorte	SOrte	Worte		Seier	SEier		Eier				
6	Säule	SEule		Eule	Säule	SEule	Eule					
4	Seier	SEier	Eier		Sorte	SOrte		Orte				
2	Säule			Eule	Säule	SEule	Eule					
0	Sorte		Worte		Seier	SEier		Eier	Sorte	SOrte	Worte	
-2					Sorte	SOrte	Worte		Seier	SEier		Eier
-4			Nein		Säule	SEule		Eule	Säule	SEule	Eule	
-6					Seier	SEier	Eier		Sorte	SOrte		Orte
-8			Eule		Säule			Eule	Säule	SEule	Eule	
-10					Sorte		Worte		Seier	SEier		Eier
-12			Neun						Sorte	SOrte	Worte	
-14							Nein		Säule	SEule		Eule
-16			Worte						Seier		Eier	
-18							Eule		Säule			Ein
-20									Sorte		Worte	
n	11	9	10	5	11	9	8	5	11	8	6	5
nn	35				33				30			

III - 4.2.1.3 Ergebnisse

III - 4.2.1.3.1 Hörschwellen

Die folgende Abbildung 18 zeigt die Verteilung der mittleren Hörschwellen bei 500 Hz, 1600 Hz, 4000 Hz und 6300 Hz über dekadische Altersgruppen der Pbn, die mit Sprachtest und Hörschwelle im Audiomobilvorraum untersucht wurden. Da in der Gruppe bis zehn Jahre nur

wenige Pbn waren, wurde die Gruppe 10-19 Jahre auf 9-19 Jahre erweitert. Da auch nur wenige Pbn älter als achtzig Jahre waren, wurde die Gruppe 70-79 Jahre auf 70-81 Jahre erweitert. Aufgrund der Umgebungsgeräusche sind die Ergebnisse der jüngeren Altersgruppen vor allem im tieffrequenten Bereich (500 Hz und 1600 Hz) nicht aussagekräftig. Für 500 Hz wird ein Anstieg der Hörschwellen von der jüngsten zur ältesten Gruppe von 14.4 dB im Mittel verzeichnet, bei 1600 Hz ein Anstieg um 17.58 dB, bei 4000 Hz um 32.01 dB und bei 6300 Hz um 40.3 dB. Die mittlere Hörschwelle der 70-81 Jährigen bei 6300 Hz wird unterschätzt, da hier die nicht meßbaren Schwellenwerte (>80 dB) auf 83 dB gesetzt und in die Berechnung einbezogen wurden.



	500 Hz	1600 Hz	4000 Hz	6300 Hz	Alter
9-19 x	34.55	32.27	30.91	28.00	15.94
sd	6.05	5.05	6.27	3.33	2.74
n	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
20-29 x	33.68	31.82	31.47	29.26	25.97
sd	5.49	4.73	6.42	5.34	3.10
n	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00
30-39 x	34.80	32.80	34.80	35.60	35.92
sd	6.05	6.05	7.39	11.72	2.90
n	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
40-49 x	38.49	34.65	43.09	46.30	45.46
sd	7.35	7.27	14.98	17.02	2.77
n	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00
50-59 x	40.85	40.05	52.02	51.12	55.60
sd	7.82	9.35	16.04	17.73	2.71
n	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
60-69 x	41.65	41.85	59.26	61.74	65.24
sd	7.40	10.78	14.03	14.60	2.98
n	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00
70-81 x	48.95	49.85	62.95	68.30	74.15
sd	11.77	13.26	14.04	14.60	2.81
n	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00

Abbildung 18. Mittlere Hörschwellen (Testohr des Sprachtests) bei 500 Hz, 1600 Hz, 4000 Hz und 6300 Hz in Abhängigkeit vom Alter. Für die Berechnung der Mittelwerte wurden dekadische Altersgruppen gebildet und die zwei Pbn der kaum besetzten Randgruppen 1-9 Jahre (n=1) und 80-90 Jahre (n=1) den Gruppen 10-19 Jahre (ergibt 9-19 Jahre) bzw. 70-79 Jahre (ergibt 70-81 Jahre) zugerechnet. Es wurden nur die Ergebnisse zu Sprachtest- und Hörschwellenmessungen im Vorraum des Audiomobils berücksichtigt, da für diese vergleichbare Umgebungsgeräuschbedingungen gegeben waren.

III - 4.2.1.3.2 Sprachtest

Tabelle 5 und Abbildung 19 zeigen die mittleren Diskriminationsschwellen und die interindividuellen Standardabweichungen für die drei Wortgruppen Vokale, S-natürlich und S-künstlich für alle Altersgruppen. Für die Berechnung wurden alle Sprachtestergebnisse herangezogen, unabhängig davon, ob sie in der Kabine oder im Vorraum des Audiomobils erhoben

wurden. Die Vokalsikriminationsschwelle wird mit dem Alter nur geringfügig schlechter, was mit gut mit den Schwellenverläufen bei 500 Hz und 1600 Hz über das Alter übereinstimmt. Die Diskriminationsschwellen für /s/ in den Wortgruppen S-natürlich und S-künstlich werden erst ab der Altersgruppe 60-69 Jahre schlechter, obwohl die Hörschwellen bei 4000 Hz und 6300 Hz über das Alter eine kontinuierliche Verschlechterung zeigen. Zum besseren Vergleich der Hörschwellen und der SRTs sind die Hörschwellen der Altersgruppen (ebenfalls über alle vorhandenen Messungen) in Abbildung 20 noch einmal als Balkengrafik dargestellt.

Es ist auffällig, daß die mittleren SRTs für S-künstlich generell schlechter sind als die SRTs für S-natürlich. Die Differenzen liegen zwischen 4.44 dB in der Altersgruppe 30-39 Jahre und 7.03 dB in der Altersgruppe 70-81 Jahre. Dabei ist keine Tendenz für einen Zusammenhang mit dem Alter gegeben. Die Korrelation zwischen den individuellen SRT-Differenzen aus S-künstlich minus S-natürlich und dem Alter beträgt $r = -0.0169$ ($n = 269$; $p = 78.3\%$). Geht man davon aus, daß mit dem Alter der Hochtonverlust zunimmt, was die Hörschwellenmessungen bestätigen), dann wäre zu erwarten, daß mit zunehmendem Alter das hochfrequente Rauschband des /s/ immer schlechter gehört wird und früher vom Störgeräusch verdeckt wird. Stützt sich der Pb dann bei der Frikativerkennung auf die tieffrequenten Frikativ-Vokaltransitionen müsste er in etwa die gleichen SRTs für S-natürlich aufweisen, wie die Normalhörigen, da diese bei der S-natürlich-Diskrimination ja ebenfalls die Transitionen auswerten. Nutzt man die SRTs in der Vokaldiskrimination als Hinweis darauf, wie gut die Transitionen ausgewertet werden können, dann zeigt sich, daß die Verschlechterung der Vokaldiskrimination um 1.46 dB SR zwischen den Altersgruppen 60-69 und 70-81 mit einer Verschlechterung der /s/-Diskrimination bei S-natürlich von 3.52 und bei S-künstlich von 3.87 dB SR verknüpft ist. Der Diskriminationsverlust für S-natürlich und S-künstlich ist zwischen den beiden Altersgruppen in etwa gleich, während er bei der Vokaldiskrimination nur etwa halb so groß ist wie bei jenen. Die altersunabhängige Differenz zwischen S-natürlich kann somit nicht mit den gleichfalls auftretenden Verlusten der Vokaldiskrimination erklärt werden. Die Korrelation zwischen den Vokal-SRT und der Differenz der SRTs aus S-künstlich und S-natürlich beträgt $r = -0.1202$ ($n=261$; $p=0,052$). Auch wenn man nur Personen berücksichtigt, die einen merklichen Hochtonverlust haben (Schwelle bei 4000 Hz ≥ 53 dB und bei 6300 Hz ≥ 59 dB), verbessert sich die Korrelation mit $r = -0.2503$ ($n=32$; $p=0.167$) nicht.

Tabelle 5. Mittlere SRTs und zugehörige Standardabweichungen in den drei Wortgruppen Vokale, S-Natürlich und S-künstlich für jede Altersgruppe. Auswertung über alle Sprachtestergebnisse (Kabine und Vorraum). Abbildung 20 zeigt die Daten der Tabelle als Balkengrafik.

Altersgruppe	Vokale			S-natürlich			S-künstlich		
	arithm. Mittel	Std.abw.	n	arithm. Mittel	Std.abw.	n	arithm. Mittel	Std.abw.	n
9-19	-13.09	4.90	34	-10.75	5.29	35	-4.51	5.54	29
20-29	-13.60	3.43	48	-10.67	2.78	45	-5.12	3.30	44
30-39	-12.76	3.58	39	-10.73	4.05	35	-6.29	4.49	32
40-49	-12.83	4.68	67	-10.25	4.09	61	-4.96	5.13	54
50-59	-12.24	3.41	84	-11.02	3.78	69	-4.64	5.70	69
60-69	-11.30	4.88	79	-9.78	4.59	62	-3.10	6.39	54
70-81	-9.84	5.14	40	-6.26	6.72	27	0.77	8.89	24

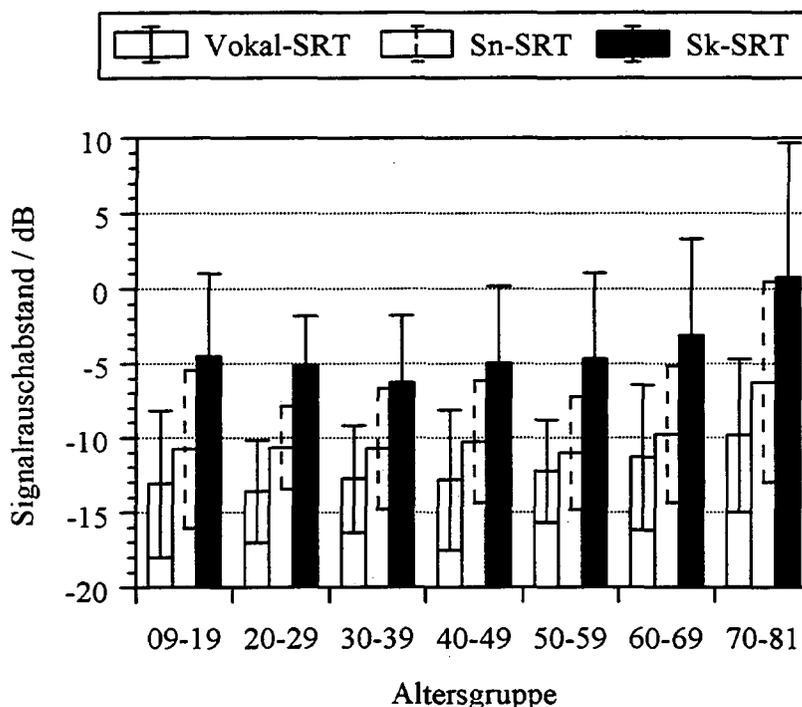


Abbildung 19. Mittlere SRTs und zugehörige Standardabweichungen in den drei Wortgruppen Vokale, S-Natürlich (Sn) und S-künstlich (Sk) für jede Altersgruppe. Auswertung über alle Sprachtestergebnisse (Kabine und Vorraum).

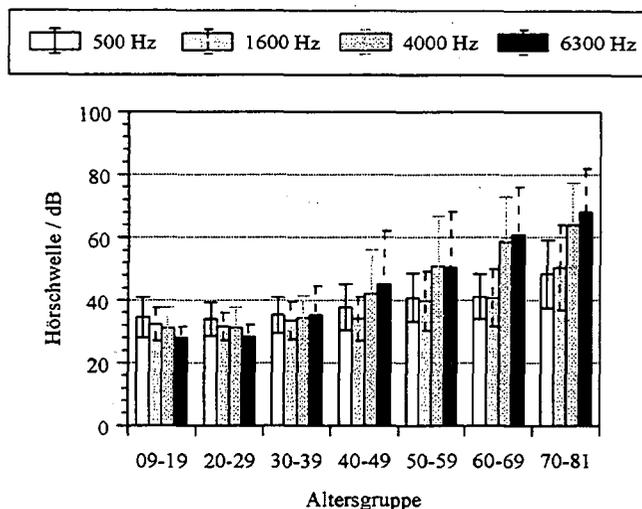


Abbildung 20. Mittlere Hörschwellen je Frequenz und Altersgruppe auf dem Testohr des Sprachtests. Zusätzlich sind die interindividuellen Standardabweichungen eingezeichnet. Berechnung über alle vorhandenen Schwellendaten (Kabine und Vorraum).

Für einen direkten individuellen Bezug der Sprachtestergebnisse auf die Diskriminationsleistung bei /s/ und den Vokalen muß die Maskierschwelle bei 70 dB simultanem weißem Rauschen berücksichtigt werden, da die Hörschwelle ohne simultanes Störgeräusch gemessen wurde, der Sprachtest dagegen mit 70 dB weißem Rauschen im Hintergrund. Ein Zusammenhang zwischen beiden Messungen kann demnach bei Hörschwellen bestehen, die höher liegen als die Maskierschwelle. Die Maskierschwelle für Normalhörige Pbn zu den gemessenen Frequenzen kann aus Messungen von Knoblach (1996) ermittelt werden. Die mittleren Maskierhörschwellen von 7 Pbn sind in Abbildung 21 mitgeteilt.

Frequenz / kHz	,25	,5	1	2	3	4	6	8	10
Mithörschwelle	46	45,8	45,7	48,8	49,8	51,3	52,8	56,3	57,2
Standardabweichung	4	3,4	0,8	1,3	2,3	1,6	2,3	1,5	1,2

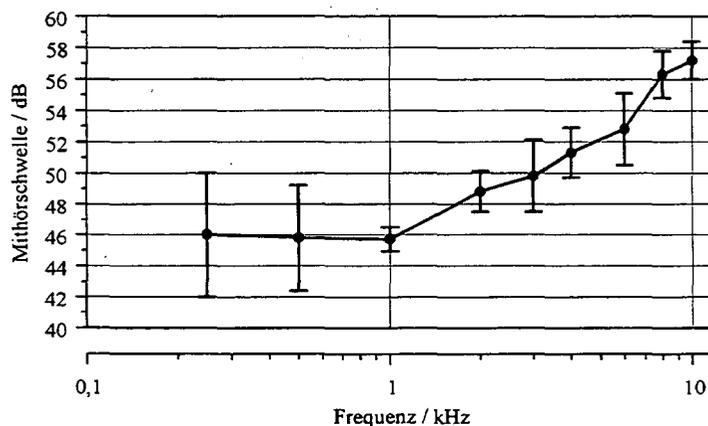


Abbildung 21. Mittlere Mithörschwellen für 7 Pbn für Terzbandrauschsignale bei 70 dB weißem Rauschen. (Knoblach, 1996)

III - 4.2.1.3.3 Bezug zwischen der Hörschwelle und den Sprachtestergebnissen

Auf der Basis der oben mitgeteilten Mithörschwellen für die Messung bei 70 dB weißem Rauschen, werden die minimalen Hörschwellen, die erreicht sein müssen, damit das Meßwertpaar Hörschwelle und Sprachtest-SRT in die Berechnung der Korrelation aufgenommen wird, wie folgt festgelegt: mindestens 41 dB für 500 Hz und 1600 Hz, mindestens 47 dB für 4000 Hz und 6300 Hz.

Tabelle 6 enthält die Korrelationskoeffizienten zwischen den Hörschwellen je Frequenz und den SRTs der Wortgruppen. Abbildung 22 zeigt die Scatterplots für die einzelnen Beziehungen.

Die Vokaldiskrimination ist sehr stark vom Hörvermögen bei 500 Hz abhängig ($r^2 = 38.4\%$ aufgeklärte Varianz), etwas weniger stark vom Hörverlust bei 1600 Hz ($r^2 = 20.4\%$ aufgeklärte Varianz) und so gut wie gar nicht vom Hörvermögen bei 4000 Hz ($r^2 = 1.6\%$ aufgeklärte Varianz) und bei 6300 Hz ($r^2 = 5.9\%$ aufgeklärte Varianz). Hier bestätigt sich eindeutig die Tieftonspezifität der Vokale. Leider wurden keine Hörschwellen für eine Frequenz zwischen 2000 Hz und 3000 Hz gemessen, so daß sich nicht entscheiden läßt, ob der Mitteltonbereich bei den getesteten Wörtern auch einen Einfluß hat. Insgesamt dürften die Korrelation aufgrund der relativ groben SR-Stufung von 4 dB unterschätzt werden.

Tabelle 6. Korrelationskoeffizienten zwischen den SRTs bei den Wortgruppen Vokale, S-natürlich und S-künstlich mit den Hörschwellen bei 500 Hz, 1600 Hz, 4000 Hz und 6300 Hz. Die Berechnung erfolgte nur über Ergebnisse, die im Vorraum erhoben wurden.

Vokale	S - natürlich	S - künstlich
500 Hz		
,6232 (133) P= ,000	,4139 (104) P= ,000	,2677 (94) P= ,009
1600 Hz		
,4515 (98) P= ,000	,5955 (74) P= ,000	,5144 (63) P= ,000
4000 Hz		
,1263 (119) P= ,171	,3470 (82) P= ,001	,3332 (77) P= ,003
6300 Hz		
,2423 (120) P= ,008	,4995 (84) P= ,000	,6691 (80) P= ,000

Die Diskrimination von S-natürlich wird am stärksten durch das Hörvermögen bei 1600 Hz bestimmt ($r^2 = 35.5\%$ aufgeklärte Varianz) und am zweitstärksten durch das Hörvermögen bei 6300 Hz ($r^2 = 25.0\%$ aufgeklärte Varianz). Aber auch 500 Hz ($r^2 = 17.1\%$ aufgeklärte Varianz) und 4000 Hz ($r^2 = 12\%$ aufgeklärte Varianz) tragen etwas zur Diskrimination bei. Bei

einem weißen Rauschen als Störgeräusch, welches die hohen Frequenzen stärker maskiert als die tiefen, werden die Transitionen, die auch zu den energiereichsten Merkmale des Wortes gehören, zum bestimmenden Faktor der Frikativerkennung.

Die höchste Korrelation des SRT für S-künstlich besteht erwartungsgemäß mit dem Hörvermögen bei 6300 Hz ($r^2 = 44.8\%$ aufgeklärte Varianz). Aber auch bei S-künstlich spielt der Vokalbereich eine Rolle bei der Erkennung, denn die Korrelation mit der Hörschwelle bei 1600 Hz klärt immerhin 26.5% der Varianz auf. Das Hörvermögen bei 500 Hz ($r^2 = 7.2\%$ aufgeklärte Varianz) und bei 4000 Hz ($r^2 = 11.1\%$ aufgeklärte Varianz) spielt dagegen keine Rolle. Die Bedeutung des Vokalbereichs für die Diskrimination der S-natürlich-Wörter kann aufgrund ihrer Konstruktion nicht darauf zurückgeführt werden, daß Frikativ-Vokaltransitionen zur Frikativerkennung herangezogen werden. Es besteht vielmehr die Möglichkeit, daß das Nichtvorhandensein dieser Transitionen ein schwach gehörtes /s/ unterdrückt und mit dem Alternativwort geantwortet wird. Eine genaue Betrachtung der Einzelergebnisse hat gezeigt, daß es eine Reihe von Personen gibt, die unabhängig von ihren Hörschwellen, die Wörter der S-künstlich-Bedingung nie oder nur unsystematisch für einzelne Wörter als Wörter mit S-Anlaut hören. Die gezielte Befragung einiger Pbn, die sich so verhalten hatten, ergab, daß sie bei günstigen Signalrauschabständen ein deutliches Zischen vor dem Wortbeginn hörten, dieses aber durch eine winzige Pause vom Wort getrennt zu sein schien und nicht als zur Sprache gehörig wahrgenommen wurde. Die nachfolgende Tabelle 7 gibt die Prozentzahlen derartiger Ergebnisse für jede Altersgruppe wieder. Die Häufigkeit des Auftretens weist nur einen leichten Alterstrend auf. Für die 60-81 jährigen Pbn scheinen die Transitionen doch eine stärkere Rolle zu spielen. Aufgrund ihres Hörverlusts sind sie wahrscheinlich häufig auf die Auswertung der Transientinformation angewiesen und können unter den gegebenen Testbedingungen (weißes Rauschen als Störgeräusch) zwar keinen Vorteil daraus erzielen, aber für sie wirkt sich das Fehlen der Transitionen stärker aus: keine Transition \Rightarrow kein Frikativ!

Tabelle 7. Anzahlen von Personen je Altersgruppe in Prozent, die kein Wort bei S-künstlich oder nur unsystematisch vereinzelt Wörter als Wörter mit /s/-Anlaut gehört haben.

Alter	9-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-81
rel.Häufigkeit	19.4%	2.6%	8.8%	18%	13%	20.8%	35.7%

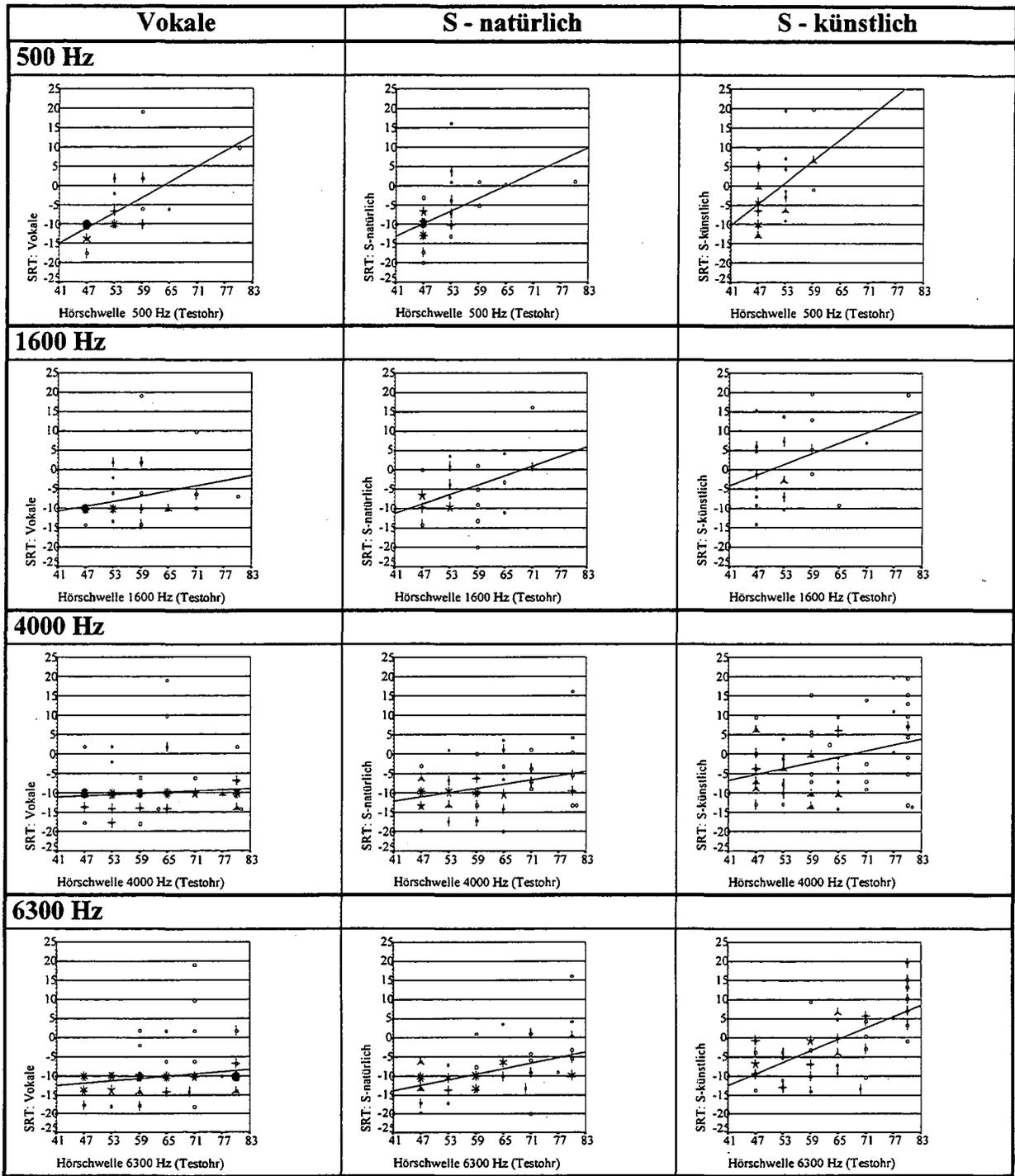


Abbildung 22. Scatterplots mit eingezeichnete Regressionsgerade für die Beziehung zwischen den Hörschwellen bei 500 Hz, 1600 Hz, 4000 Hz und 6300 Hz und den SRTs für S-natürlich, S-künstlich und Vokale. In die Abbildung en wurden nur die Schwellen eingezeichnet, die über der Mithörschwelle für weißes Rauschen liegen (≥ 41 dB für 500 Hz und 1600 Hz; ≥ 47 dB für 4000 Hz und 6300 Hz; vgl. Text). Die Scatterplots sind als Sonnenblumendiagramm ausgeführt, d.h. zu jedem Meßpunktpaar ist für jeden eingehenden Meßwert ein Teilstrich gezeichnet. Auf diese Weise wird die Verteilung aller Werte trotz diskreter Auflösung der Dimension deutlich.

III - 4.2.2 Weitere Untersuchungen mit dem Audiomobil

Für die weiteren Untersuchungen wurde statt des weißen Rauschens im Sprachtest wieder Stimmengewirr verwendet, da durch das weiße Rauschen der Einfluß des Tieftonbereichs auf die /s/-Diskrimination zu stark ist und die Hochtonspezifität vermindert wird.

Auch der Aufbau des Sprachtests selbst wurde leicht modifiziert: a) in die Demonstration des Testablufts wurde auch ein Item der Wortgruppe S-Vexier aufgenommen; b) S-künstlich wurde S-natürlich angeglichen; c) in der "schweren" Haupttestversion wurden für S-natürlich und S-künstlich die Items bei -20 dB SR entfernt, um den Test etwas zu verkürzen; d) in allen Haupttestversionen wurde die Stufung der Signalrauschabstände für die Vokaldiskrimination auf 3 dB reduziert, um eine bessere Meßauflösung zu erhalten. Der neue Aufbau des Tests kann Tabelle 8 entnommen werden.

Tabelle 8. Zuordnung der Testwörter zu den Signalrauschabständen in den drei Haupttestversionen "schwer", "mittel" und "leicht". (Abkürzungen: SR=Signalrauschabstand, Sn=S-natürlich, Sk=S-künstlich, Vok=Vokale, Vex=S-Vexier, n=Items je Wortgruppe, nn=Items je Testversion)

SR	"leichte" Version				"mittlere" Version				"schwere" Version			
	Sn	Sk	Vok	Vex	Sn	Sk	Vok	Vex	Sn	Sk	Vok	Vex
20	Sorte	SORte										
18	Seier	SEier		Eier								
16	Säule	SEule										
15			Worte									
14	Sorte	SORte		Orte								
12	Säule	SEule	Eule									
10	Seier	SEier		Eier	Sorte	SORte						
9			Eule				Worte					
8	Sorte	SORte			Seier	SEier		Eier				
6	Säule	SEule	Worte	Eule	Säule	SEule	Eule					
4	Seier	SEier			Sorte	SORte		Orte				
3			Eier				Eule					
2	Säule	SEule		Eule	Säule	SEule						
0	Sorte	SORte	Worte		Seier	SEier	Worte	Eier	Sorte	SORte	Worte	
-2					Sorte	SORte			Seier	SEier		Eier
-3			Nein				Eier				Eule	
-4					Säule	SEule		Eule	Säule	SEule		
-6			Eule		Seier	SEier	Worte		Sorte	SORte	Eule	Orte
-8					Säule	SEule		Eule	Säule	SEule		
-9			Neun				Nein				Worte	
-10									Seier	SEier		Eier
-12			Worte				Eule		Sorte	SORte	Eier	
-14									Säule	SEule		Eule
-15			Eier				Eier				Worte	
-16									Seier	SEier		
-18									Säule	SEule		Ein
n	11	11	11	5	10	10	9	5	10	10	6	5
nn	38				34				31			

III - 4.2.2.1 Probanden

Insgesamt wurden 62 Probanden mit Mithörfeld, Schwellenmessung und/oder Sprachtest untersucht. Die Pbn kamen aufgrund von Mitteilungen in den Würzburger Tageszeitungen, um an einer kostenlosen Gehöruntersuchung teilzunehmen. Die Altersverteilung ist etwas ungünstiger, da an Werktagen von 10-17 Uhr gemessen wurde und hier normalerweise nur ältere Menschen Zeit haben.

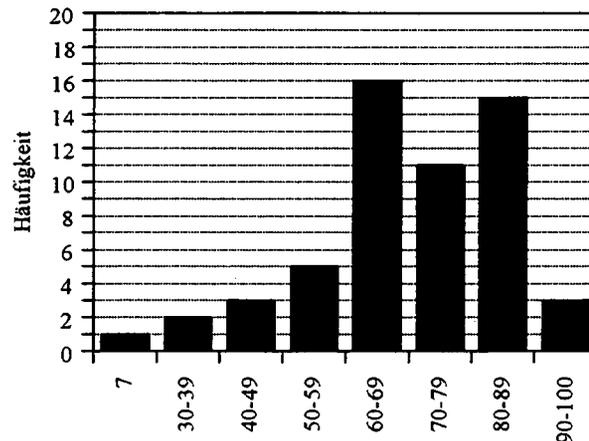


Abbildung 23. Altersverteilung der Untersuchungen.

III - 4.2.2.2 Ergebnisse

III - 4.2.2.2.1 Sprachtest

Tabelle 9 zeigt die mittleren SRT je Wortgruppe im Sprachtest für die dekadischen Altersgruppen. Die altersgruppenspezifische Auswertung ist aufgrund des geringen Stichprobenumfangs als vorläufiges Ergebnis zu betrachten.

Die Vokaldiskrimination wird mit dem Alter um 5.49 dB SR schlechter, wobei dies erst ab der Altersgruppe 80-89 Jahre deutlich wird. Die SRts liegen aufgrund des unterschiedlichen Störgeräuschspektrums schlechter als bei den Messungen der Mainfrankenmesse.

Für S-natürlich ist eine deutliche und kontinuierliche Abnahme der Diskriminationsleistung mit dem Alter von ca. 2 dB Sr je Dekade zu verzeichnen. Die Verminderung über alle Altersgruppen beträgt ca. 24 dB, wenn man die zwei Ergebnisse für die über 90jährigen mit einbezieht und ca. 12 ½ dB ohne diese.

Wie schon bei der Mainfrankenmesse sind in der Wortgruppe S-künstlich viele Messungen nicht verwertbar, da es Pbn gibt, die kein einziges Items als Wort mit /s/-Anlaut identifizie-

ren. Die verwertbaren Ergebnisse haben in etwa die gleiche Höhe wie diejenigen bei S-natürlich, der Tendenz nach liegen sie wahrscheinlich etwas schlechter.

Tabelle 9. Sprachtestergebnisse je dekadischer Altersgruppe für Vokale, S-natürlich und S-künstlich.

Altersgruppe	Vokale			S-natürlich			S-künstlich		
	ar.Mi.	Stdabw.	n	ar.Mi.	Stdabw.	n	ar.Mi.	Stdabw.	n
30 - 39 Jahre	-9,85	0,07	2	-7,95	1,34	2	-14,90	0,00	1
40 - 49 Jahre	-4,50	3,00	3	-12,98	9,33	4	-10,67	11,76	3
50 - 59 Jahre	-8,42	5,46	5	-9,58	5,55	5	-9,90	7,00	6
60 - 69 Jahre	-7,59	4,29	16	-7,87	6,71	16	-3,49	10,22	11
70 - 79 Jahre	-7,25	5,84	11	-5,46	6,44	10	-5,18	7,59	5
80 - 89 Jahre	-4,36	7,18	15	0,38	10,20	12	3,83	6,58	8
90 -100 Jahre	-0,27	5,78	3	11,05	0,21	2	10,17	4,73	3

III - 4.2.2.2 Hörschwellen

In Tabelle 10 sind die mittleren Hörschwellen bei 500 Hz, 1600 Hz, 4000 Hz und 6300 Hz je dekadischer Altersgruppe aufgeführt. Die Hörschwellenmessungen wurden genauso durchgeführt, wie bereits bei der Besprechung der Untersuchung auf der Mainfrankenmesse aufgeführt, lediglich die leisen Pegel wurden um einen erweitert (20 dB). Ergebnisse die besser waren als der Meßbereich (20 dB), wurden auf 20 dB gesetzt, Ergebnisse schlechter als der Meßbereich (80 dB) wurden auf 83 dB gesetzt.

Für alle Frequenzen nehmen die Hörschwellen mit dem Alter zu, für die hohen Frequenzen jedoch stärker als für die tiefen. Dies korrespondiert mit den Ergebnissen des Sprachtests, bei denen die Vokaldiskrimination mit dem Alter geringer abnahm als die Frikativdiskrimination.

Tabelle 10. Mittlere Hörschwellen je dekadischer Altersgruppe für alle Hörschwellenmessungen (n=44).

Altersgruppe	500 Hz		1600 Hz		4000 Hz		6300 Hz		n
	ar.Mi.	s	ar.Mi.	s	ar.Mi.	s	ar.Mi.	s	
30 - 39 Jahre	29,00	0,00	20,00	0,00	20,00	0,00	29,00	0,00	1
40 - 49 Jahre	24,80	6,91	20,00	0,00	29,60	16,89	37,40	26,27	5
50 - 59 Jahre	29,60	7,47	23,00	6,71	32,60	13,65	33,80	15,39	5
60 - 69 Jahre	32,75	11,16	32,00	10,55	42,75	16,15	47,50	20,54	12
70 - 79 Jahre	34,33	11,69	35,00	12,64	55,00	21,05	63,33	15,81	9
80 - 89 Jahre	40,63	11,83	43,25	14,94	63,50	14,96	74,38	11,04	8
90 -100 Jahre	51,00	15,10	51,00	13,86	71,00	15,87	81,00	3,46	3

III - 4.2.2.2.3 Beziehung zwischen Hörschwellenverlust und Sprachtestergebnissen

Für die Beurteilung der Validität der frequenzspezifischen Messung werden wie bei der Mainfarknemme nur die Beziehungen zwischen Hörschwelle und SRT berücksichtigt. Aufgrund des unterschiedlichen Störgeräuschspektrums und der damit veränderten Mithörschwellen wurde die Begrenzung der einzubeziehenden Hörschwellenwerte für die hohen Frequenzen (4000 Hz und 6300 Hz) aufgehoben. In Tabelle 11 sind die Pearson-Korrelationskoeffizienten und ihre Irrtumswahrscheinlichkeiten mitgeteilt.

Wie bei den obigen Ergebnissen wird auch bei dieser Messung die Vokaldiskrimination im wesentlichen von der Hörfähigkeit bei 500 Hz bestimmt ($r^2 = 44.4\%$ erklärte Varianz). Für 1600 Hz ist dagegen nur eine nicht signifikante negative Korrelation gegeben. Das Hörvermögen bei 4000 Hz ($r^2 = 15.5\%$ erklärte Varianz) und 6300 Hz ($r^2 = 23.3\%$ erklärte Varianz) aufgrund der niedrigen Energie des Störgeräusches bei hohen Frequenzen einen etwas größeren Einfluß bekommen.

Bei S-natürlich wird das Ergebnis aufgrund des anderen Störgeräusches nun eindeutig von den hohen Frequenzen 4000 Hz ($r^2 = 65.4\%$ erklärte Varianz) und 6300 Hz ($r^2 = 66.1\%$ erklärte Varianz) bestimmt. Der Bereich des für die Transitionsauswertung wichtigen zweiten Formanten bei 1600 Hz ($r^2 = 18.1\%$ erklärte Varianz) trägt nur noch unwesentlich zur Diskrimination bei. Dies zeigt sich auch darin, daß bei den vorliegenden Messungen nur noch eine sehr geringe Differenz zwischen den SRT bei S-natürlich und S-künstlich besteht. Die Hörschwelle bei 500 Hz ($r^2 = 35.9\%$ erklärte Varianz) nun jedoch etwas mehr zur Diskrimination bei. Das Stimmengewirr hat bei Frequenzen unterhalb von 1000 Hz ebenfalls weniger Energie, so daß dieser Bereich wichtig wird, um den dem Frikativ folgenden Wortteil besser hören zu können.

Tabelle 11. Korrelation zwischen den Diskriminationsschwellen (SRT) für die Wortgruppen Vokale, S-natürlich und S-künstlich und den Hörschwellen bei 500 Hz, 1600 Hz, 4000 Hz und 6300 Hz. (mitgeteilt sind der Pearson-Korrelationskoeffizient, die Anzahl berücksichtigter Meßwertpaare (n), und die Irrtumswahrscheinlichkeit p).

Vokale	S - natürlich	S - künstlich
500 Hz (nur Schwellen ≥ 41 dB)		
,6662 (13) P= ,013	,5988 (14) P= ,024	,3873 (7) P= ,391
1600 Hz (nur Schwellen ≥ 41 dB)		
-,1679 (13) P= ,584	,4251 (13) P= ,148	,3591 (8) P= ,382
4000 Hz (keine Einschränkung)		
,3936 (38) P= ,015	,8087 (38) P= ,000	,8520 (29) P= ,000
6300 Hz (keine Einschränkung)		
,4824 (38) P= ,002	,8127 (38) P= ,000	,8870 (29) P= ,000

Für die /s/-Diskrimination bei S-künstlich sind eindeutig nur die hohen Frequenzen 4000 Hz ($r^2 = 72.6\%$ erklärte Varianz) und 6300 Hz ($r^2 = 78.7\%$ erklärte Varianz) entscheidend. Die Hörschwelle bei den Frequenzen 500 Hz ($r^2 = 15.0\%$ erklärte Varianz) und 1600 Hz ($r^2 = 12.9\%$ erklärte Varianz) tragen so gut wie nichts bei. Für die Personen, die keine Probleme mit der Integration von vorgesetztem /s/ und nachfolgendem Wort haben, kann mit dieser Wortgruppe eine eindeutig hochfrequenzspezifische Messung durchgeführt werden.

III - 4.2.3 Fazit

Die Korrelationen zwischen Hörschwellen und Sprachtest-SRTs haben gezeigt, daß für die Vokaldiskrimination die Tieftonspezifität gegeben ist. Es konnte aufgrund der gewählten Meßfrequenzen nicht geklärt werden, ob der Frequenzbereich zwischen 2 kHz und 3 kHz auch einen Beitrag zur Vokaldiskrimination leistet.

Die Wortgruppe S-künstlich erlaubt eine eindeutige hochfrequenzspezifische Messung, ist aber nicht für die Verwendung im Sprachtest geeignet, da eine teilweise erhebliche Anzahl an Pbn (bis zu 35%) die aus Frikativ+Wort künstlich zusammengesetzten Items nicht als S-Wörter hören.

Die Diskrimination von S-natürlich, also natürlich gesprochenen Wörtern mit Frikativ-Anlaut ist zwar auch vom Hörvermögen bei tiefen Frequenzen und damit der Transitionsauswertung abhängig, dies wirkt sich aber nur bei einem Störgeräusch aus, das die hohen Frequenzen relativ zu den tiefen Frequenzen stärker verdeckt. Bei einem Stimmengewirr, das wenig Energie bei hohen Frequenzen aufweist, ist dieser Einfluß relativ zur Bedeutung der hohen Frequenzen sehr gering. Aus diesem Grund kann auch für S-natürlich von einer ausreichend hohen Hochfrequenzspezifität ausgegangen werden, wenn tieffrequenzbetontes Stimmengewirr als Störgeräusch eingesetzt wird.

III - 4.3 Mitteltonspezifität

III - 4.3.1 Relative Bedeutung von Mittelton- und Hochtonbereich bei der Erkennung des Frikativ /s/

Für die Erweiterung des frequenzspezifischen Sprachtestkonzepts auf den Tiefton- und Mitteltonbereich wurde auf folgende Überlegung aufgebaut: Formanttransitionen stellen ein wichtiges Merkmal zur Konsonanterkennung dar, wobei die Übergänge der ersten beiden Formanten (F1, F2) in der Regel zur Identifizierung ausreichen. In Abhängigkeit vom Vokal liegen F1 und F2 bei unterschiedlichen Frequenzen, die untere Grenze des möglichen Frequenzbereichs ist 250 Hz, die obere Grenze ist 2500 Hz. Stellt man nun ein künstliches Wort her, bei dem die tief- bis mittelfrequente Information alleine einen vorausgehenden stimmhaften Plosiv anzeigt, das Phonem selbst jedoch ein hochfrequenter Frikativ ist, hängt das tatsächlich gehörte Phonem von der Relation des Hörvermögens bei tiefen und mittleren Fre-

quenzen zu demjenigen bei hohen Frequenzen ab. Durch Veränderung der Pegelrelation zwischen den tieferfrequenten Konsonant-Vokaltransitionen und dem hochfrequenten Frikativ sollte sich das individuelle Hörvermögen bei tieferen und hohen Frequenzen ermitteln lassen.

Im Rahmen einer Reihenuntersuchung in der AOK im November 1991 wurde das Konzept getestet. Da dieser Ansatz deutlich vom generellen, oben beschriebenen Sprachtestkonzept abweicht, werden Methode und technischer Aufbau detailliert beschrieben.

III - 4.3.1.1 Methode

III - 4.3.1.1.1 Testkonstruktion und technischer Aufbau

Folgende Wörter wurden von einem männlichen Sprecher (Alter: 32 Jahre) mit jeweils gleichem Stimmaufwand gesprochen und direkt in den Computer digitalisiert (AD-Wandlung mit 16 Bit Auflösung und 50 kHz Samplingfrequenz): /loben/, /leider/, /weder/ und /schieben/. Im Computer wurde der Burst der Plosive entfernt und der Wortteil bis zum Beginn der Mikro-pause getrennt vom Wortteil ab dem Beginn des Plosiv-Vokal-Transienten gespeichert. Anschließend wurden die Wortteile so wieder zusammengesetzt, daß die natürliche Artikulationspause entweder etwas verkürzt oder etwas verlängert wurde (siehe Beispiel in Abbildung 24). So wurde das Einfügen eines /s/-Lautes ermöglicht, dessen Dauer in der richtigen Relation zur Sprechgeschwindigkeit des Wortes lag. Um einen direkten Bezug zum Hochtonbereich (und damit die bestmögliche Frequenzspezifität) zu erreichen, wurde statt eines natürlichen /s/ ein 4.9 kHz-10%-Schmalbandrauschen mit flachen Flanken verwendet, dessen Hüllkurve dem eines gesprochenen /s/ entsprach. Die Vorversuche zeigten, daß die so bearbeiteten Wörter von Normalhörigen unverändert als /loben/, /leider/, /weder/ und /schieben/ verstanden wurden, wenn das in die Artikulationspause gesetzte Schmalbandrauschen unter die Hörschwelle gedämpft wurde. Wurde das Schmalbandrauschen dagegen auf einen Pegel angehoben, der einer natürlichen Intrawort-Pegelrelation des /s/ entsprach, wurde statt /loben/ das Wort /losen/, statt /weder/ das Wort /weser/, statt /schieben/ das Wort /schießen/ und statt /leider/ das Wort /leiser/ gehört. Die Natürlichkeit der Wörter wurde durch ein simultanes Stimmengewirr im Hintergrund erhöht. Als Stimmengewirr wurde das aus dem bisherigen Konzept vorhandene verwendet. Der Signalrauschabstand (im Vokalbereich gemessen) betrug ca. +9 dB, wobei der Darbietungspegel des Stimmengewirrs ca. 75 dB betrug, der Pegel der Testwortvokale 84 dB und das eingefügte 4.9 kHz-Schmalbandrauschen (10%) ebenfalls 84 dB. Die Testsequenz wurde vom Computer generiert und direkt mit einem DAT-Recorder aufgezeichnet. Die DAT-Aufnahme wurde über den Line-Ausgang mono auf eine Verstärkerstufe gegeben und mit den gleichen Ausgangsspannungen wie bei der Computerdarbietung in einen offenen Kopfhörer JECKLIN Float Model two eingespeist. An der Verstärkerstufe konnte die Kanalzuordnung: linkes Ohr, rechtes Ohr, beidohrig für die Darbietung gewählt werden.

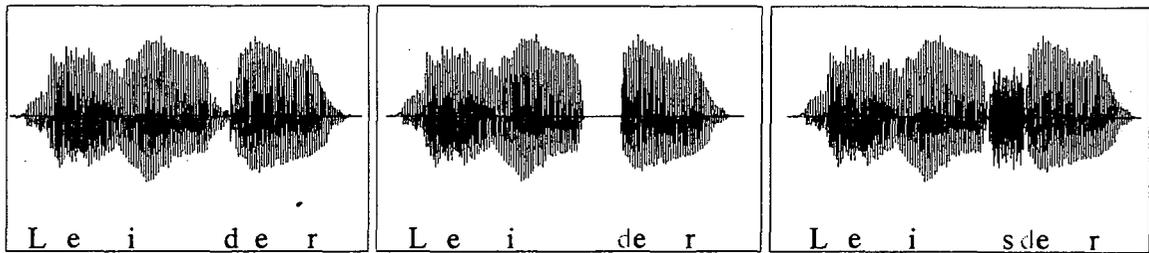


Abbildung 24. Zeitfunktion des unmanipulierten Wortesamples /Leider/ (oben) und desselben Samples, nachdem der Burst entfernt, die Artikulationspause vergrößert und auf Null gesetzt wurde und desselben Samples, nachdem ein 4900-Hz-10%-Schmalbandrauschen eingefügt wurde.

III - 4.3.1.1.2 Testaufbau

Der Sprachtest besteht aus einem Vor- und einem Haupttest. In jedem Testteil müssen 24 Wörter nach der 2AFC-(Two-Alternative-Forced-Choice)-Methode identifiziert werden. Die vorgegebenen Alternativen sind jeweils:

Loben - Losen Schieben - Schießen Weder - Weser Leider - Leiser

Bei 4 der 24 Darbietungen werden die unmanipulierten Wörter mit dem Originalplosiv verwendet, d.h. jedes Wort (/Loben/, /Schieben/, /Weder/ und /Leider/) kommt einmal in natürlicher Aussprache vor. Mit den restlichen 20 Darbietungen werden 10 verschiedene Pegel des 4.9 kHz-Schmalbandrauschens getestet. Im Vortest entspricht dies den Pegeln 84 - 30 dB in 6 dB-Stufen. Vom Haupttest gibt es 5 Versionen mit den Pegelbereichen: 84-66, 74-56, 64-46, 54-36, 44-26 dB, wobei die Stufung 2 dB beträgt.

III - 4.3.1.1.3 Probanden

Die untersuchten Probanden (Pbn) waren Personen, die sich auf einen Bericht in der Lokalzeitung und im Lokalradio hin für die Untersuchungen interessiert hatten. Zu den Hörverlusten der Pbn lagen keine unabhängigen Messungen (z.B. Audiogramme) vor und in der Regel konnten auch die Pbn selbst keine Informationen zu ihrem Hörverlust geben, so daß keine Klassifikation der Hörschädigungen (Mittelohrschädigungen, Innenohrschädigung, zentraler Hörschaden) möglich war. Die Pbn wurden monaural mit dem Kurzhörfeld- und dem Kurzsprachtestverfahren untersucht. Aufgrund der knappen Versuchszeit wurden Pbn mit Hörgerät nur auf dem versorgten Ohr mit und ohne Hörgerät und Pbn ohne Hörgerät auf beiden Ohren untersucht. Die Ergebnisse können also nur einen groben Trend aufzeigen. Insgesamt wurden 66 Messungen mit Hörgerät und 165 Messungen ohne Hörgerät durchgeführt.

III - 4.3.1.1.4 Testdurchführung

Der Proband erhält zunächst folgende Instruktion: *Wir spielen Ihnen jetzt eine Reihe von Wörtern vor. Bei jeder Darbietung müssen Sie angeben, was Sie gehört haben. Im Hintergrund ist ein Stimmengewirr zu hören. Auf diesem Antwortbogen ist jeweils angegeben, welche zwei Wörter es sein können. Ihre Aufgabe ist es zu verstehen, welches der beiden Wörter vorgespielt wurde. Sie müssen in jedem Fall eines der beiden Wörter ankreuzen, d.h. wenn Sie sich einmal nicht sicher sind, welches Wort zu hören war, dann kreuzen Sie bitte das Wort an, das am ehesten zu dem paßt, was Sie gehört haben.*

Anschließend wird der Vortest durchgeführt und mit einer Schablone ausgewertet. Je nach dem Vortestergebnis wird die Haupttestversion so gewählt, daß der Pegel des Übergangs vom /s/ zum Plosiv in den Pegelbereich der Testversion fällt. Danach wird der Haupttest durchgeführt und der Übergangspiegel mit 2 dB Auflösung bestimmt.

III - 4.3.1.2 Ergebnisse

Als wichtigstes Ergebnis wird die wechselseitige Abhängigkeit des /s/-Plosiv-Übergangs vom Hörverlust im Hochtonbereich und im Mitteltonbereich dargestellt. Mit einem parallel durchgeführten Kurzhörfeldverfahren wurden individuelle Lautheitsverluste zur Normisophone "mittel (KU25)" in den Frequenzbereichen 1-4 kHz (MTB) und 3-8 kHz (HTB) bestimmt. Da sich zwischen den beiden Frequenzbereichen keine theoretisch klar begründete Trennfrequenz angeben läßt, überlappen diese sich bei 4 kHz (vgl. Abbildung 18). Für die Berechnung des mittleren Lautheitsverlustes werden die Lautheitsverluste bei den einzelnen Frequenzen gewichtet gemittelt. Im Frequenzbereich MTB werden die Verluste bei 1 kHz und 4 kHz einfach, bei 2 kHz und 3 kHz doppelt gewichtet; im Frequenzbereich HTB werden die Verluste bei 3 kHz und 8 kHz einfach, bei 4 kHz und 6 kHz doppelt gewichtet. Verluste werden als negative Zahlen angegeben.

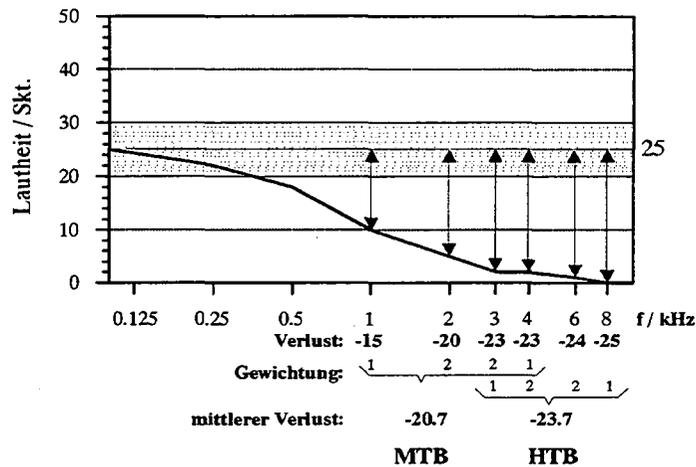


Abbildung 25. Schema der Berechnung des mittleren Lautheitsverlustes für den Mitteltonbereich (MTB) und den Hochtonbereich (HTB) bei einer individuellen KU25-Isophone (mittellaut).

Nach der Bestimmung der individuellen Lautheitsverluste wurden die Personen in Verlustgruppen bezüglich ihrer individuellen Verluste in den beiden Frequenzbereichen MTB und HTB aufgeteilt. Jede Gruppe umfaßte jeweils eine halbe Kategorie Lautheitsverlust: 5 bis 0 Skalenteile (=Gewinn), 0 bis -5 Skalenteile (=Verlust), -5 bis -10 Skt., -10 bis -15 Skt., -15 bis -20 Skt., -20 bis -25 Skt. Da der Bezug zur Normisophone KU-25 gewählt wurde, ist der Verlust mit maximal 25 Skalenteilen bestimmbar. Die Zugehörigkeit eines individuellen Ergebnisses zu einer Gruppe ergibt sich aus dem Verlust im MTB und dem Verlust im HTB. Die Gruppenergebnisse können somit als zweidimensionale Matrix (Tabelle 12) dargestellt werden. Innerhalb einer Zeile weisen alle Gruppen denselben Hochtonverlust auf und unterscheiden sich lediglich bezüglich der Größe des Mitteltonverlustes. Innerhalb einer Spalte sind die Mitteltonverluste konstant und die Hochtonverluste sind unterschiedlich. In der folgenden Abbildung 26 sind in die Zellen der Verlustmatrix Graphen eingezeichnet, die für die entsprechende Gruppe den Übergang vom gehörten /s/ zum gehörten Plosiv angibt. Als Übergang wird die relative Häufigkeit 50% definiert, d.h. die Dämpfung des 4.9 kHz-Schmalbandrauschens in dB (Dämpfung 0 dB = 84 dB absolut), bei der zur Hälfte /s/-Antworten und zur Hälfte Plosiv-Antworten gegeben werden. Auf der Ordinate stehen die relativen Häufigkeiten der /s/- bzw. Plosivantworten und auf der Abszisse die Dämpfung des 4.9 kHz-Schmalbandrauschens. In der Randspalte bzw. Randzeile sind die Einzelergebnisse der Spalten- bzw. Zeilengruppen zusammengefaßt. Hier stehen auf der Abszisse die Gruppennummer (1 entspricht der Gruppe mit dem höchsten Hörverlust [-25 bis -20 Skt.] und 6 der Gruppe mit dem leichten Hörgewinn [0 bis 5 Skt.]) und auf der Ordinate die Dämpfung des 4.9 kHz-Schmalbandrauschens, bei der die /s/-Plosiv-Übergangsschwelle (rel. Häufigkeit: 50%) liegt.

Tabelle 12. Anzahl der Sprachtests je Lautheitsverlustklasse. HTB = Hochtonbereich (3, 4, 6, 8 kHz); MTB = Mitteltonbereich (1, 2, 3, 4 kHz). Verluste berechnet als gewichtetes arithmetisches Mittel der individuellen Abweichungen zur Normisophone "KU-25 = mittellaut" für beide Frequenzbereiche.

MTB HTB	-25 bis -20	-20 bis -15	-15 bis -10	-10 bis -5	-5 bis 0	0 bis 5	Σ
-25 bis -20	30	34	14	4	1	0	83
-20 bis -15	2	10	17	19	7	0	55
-15 bis -10	0	1	10	15	15	2	43
-10 bis -5	0	1	2	12	10	13	28
-5 bis 0	0	0	0	2	9	7	18
0 bis 5	0	0	0	0	3	1	4
Σ	32	46	43	52	45	13	231

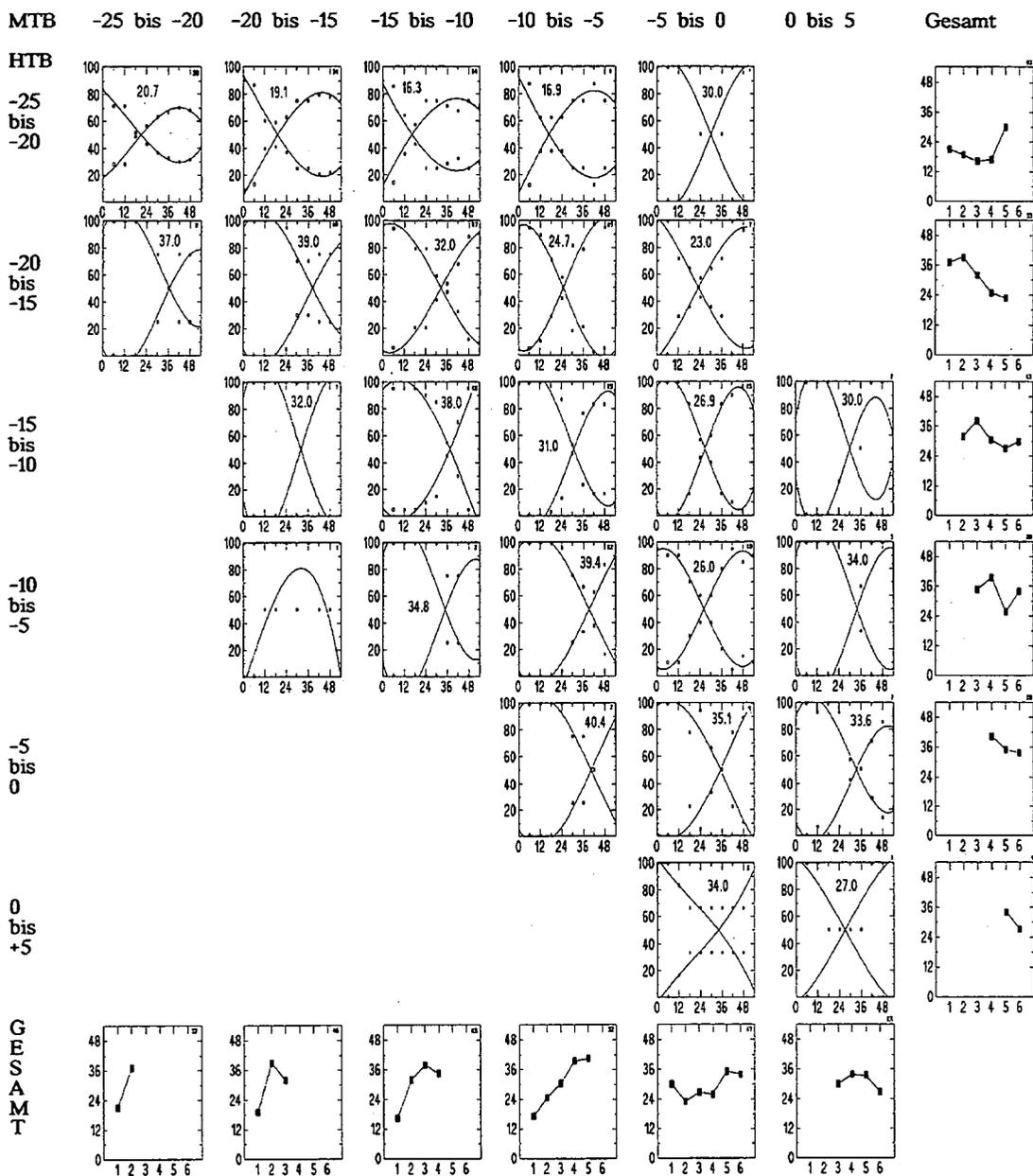


Abbildung 26. Die Schwelle für die /s/-Worterkennung in Abhängigkeit vom Lautheitsverlust zur Normisophonie "KU-25 - mittellaut" im Mitteltonbereich (1-4 kHz) und im Hochtonbereich (3-8 kHz). Ordinate: relative Häufigkeit "/s/"- bzw. "/d/ oder /b/"-Antworten; Abszisse: /s/-Dämpfung in dB [bei Gesamt: 1 = -25 bis -20, 2 = -20 bis -15, ..., 6 = 5 bis 0 Skt.]

Betrachtet man die Abhängigkeit des /s/-Plosivübergangs innerhalb der Zeilen bzw. Spalten der Abbildung 26 (diese ist jeweils in der Spalte bzw. Zeile GESAMT dargestellt), dann kann man feststellen, daß die Steigungen der Funktionen nicht konstant sind. Dies kann man als Wechselwirkung zwischen den Frequenzbereichen MTB und HTB interpretieren. Es besteht also keine einfache Beziehung zwischen dem Hörverlust im HTB und dem Hörverlust im MTB bezüglich des /s/-Plosiv-Überganges, sondern je nach Stärke des Ausfalls in einem Frequenzbereich ergeben sich andere Übergangsfunktionen im jeweils anderen Frequenzbereich.

Die aktuelle Auswertung der Ergebnisse zeigt auch, daß mit zunehmendem Hörverlust in beiden Frequenzbereichen gehäuft Ergebnisse vorkommen, bei denen über einen größeren Pegelbereich unsystematische Antworten vorkommen. D.h. es wird abwechselnd mit /s/ und dem entsprechenden Plosiv geantwortet und es gibt keinen scharfen Übergang zwischen Plosiv und /s/. Die Tabelle 13 gibt die absoluten und relativen Häufigkeiten von derartigen Ergebnissen je Verlustgruppe bezogen auf die Matrix der Tabelle 12 wieder.

Tabelle 13. Anzahl der Sprachtests mit unscharfen /s/-Plosiv-Übergängen je Lautheitsverlustklasse. Die große Zahl gibt die absolute, die kleine Zahl die relative Häufigkeit an. HTB = Hochtonbereich (3, 4, 6, 8 kHz); MTB = Mitteltonbereich (1, 2, 3, 4 kHz). Verluste berechnet als gewichtetes arithmetisches Mittel der individuellen Abweichungen zur Normisophone "KU-25 = mittellaut" für beide Frequenzbereiche.

MTB HTB	-25 bis -20	-20 bis -15	-15 bis -10	-10 bis -5	-5 bis 0	0 bis 5	Σ
-25 bis -20	20 (67)	17 (50)	8 (57)	2 (50)	1 (100)	-	48 (58)
-20 bis -15	1 (50)	4 (40)	4 (24)	5 (26)	2 (29)	-	16 (29)
-15 bis -10	-	1 (100)	0 (0)	7 (47)	3 (20)	1 (50)	13 (30)
-10 bis -5	-	0 (0)	0 (0)	2 (17)	3 (30)	0 (0)	6 (21)
-5 bis 0	-	-	-	0 (0)	1 (11)	5 (71)	6 (33)
0 bis 5	-	-	-	-	0 (0)	1 (100)	1 (25)
Σ	21 (66)	22 (48)	14 (33)	16 (31)	10 (22)	7 (54)	90 (39)

Später durchgeführte Messungen bei 47 Normalhörigen bestätigten beide Ergebnisse. Bei den Normalhörigen wurde auch der Plosiv-Vokal-Transitionsbereich verändert, indem die Testwörter /Loben/, /Schieben/, /Weder/ und /Leider/, die zur Itemkonstruktion verwendet wurden, zusätzlich auch mit einem stimmlosen Plosiv (also /p/ und /t/) gesprochen wurden. Die "Diskriminationsschwellen" verschoben sich bei diesen Items um ca. 6 dB zugunsten der Plosive. Außerdem war auch bei den Normalhörigen ein relativ hoher Prozentsatz von breiten unsystematischen Übergangsbereichen feststellbar. Die Nachbefragungen der Pbn ergaben, daß sie in diesen Fällen beide Phoneme gleichzeitig gehört hatten, also z.B. "lobsen oder losben".

III - 4.3.1.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, daß für die gewählte Versuchsanordnung eine Wechselwirkung zwischen tiefen und hohen Frequenzen besteht. D.h. daß das Ergebnis einer Messung im Hochtonbereich sowohl vom Hörvermögen im Hochtonbereich abhängt als auch vom Hörvermögen im Mitteltonbereich. Um die Wechselwirkung in der Interpretation eines individuellen Sprachtestergebnisses berücksichtigen zu können, müßte im Test die Stärke der Plosiv-Vokal-Transienten systematisch gegen die Stärke des 4.9 kHz-Schmalbandrauschens bzw. eines /s/ variiert werden. Dies hätte aber eine erhebliche Testverlängerung zur Folge und das Verfahren wäre nicht mehr zur Überprüfung verschiedener Hörgeräteinstellungen zu gebrauchen.

Die Konstruktion der Testwörter hat außerdem bei etlichen Pbn zu nicht eindeutigen Wahrnehmungen geführt. Plosiv und Frikativ konnten bei bestimmten Itemschwierigkeiten gleichzeitig wahrgenommen werden. Das heißt, daß kein eindeutiger Übergang zwischen den Alternativphonemen gegeben ist und es vom momentanen Entscheidungskriterium des Pb abhängt, welche Antwortalternative er wählt. Dies hat zur Folge, daß aus der "Diskriminationsschwelle" zwischen Plosiv und "/s/" nicht eindeutig auf das Hörvermögen zurückgeschlossen werden kann.

Aus diesen Gründen wurde die Strategie zwei konkurrierende Phoneme gleichzeitig darzubieten nicht weiter verfolgt.

III - 4.3.2 Diskrimination zwischen den stimmhaften Plosiven /b/ und /d/

III - 4.3.2.1 Untersuchung zur Spezifität der Merkmale *Burst* und Transitionen bei Wörtern mit Wortinitialem /b/ oder /d/

Die akustischen Merkmale anhand derer die Plosividentifikation vorgenommen wird, sind seit langem bekannt. Durch den Verschluß des Vokaltraktes entsteht bei der Plosivbildung ein gesteigerter Luftdruck, der sich schlagartig durch die Öffnung der Lippen löst. Die Folge ist ein *Burst*, d.h. ein explosionsartiger Laut, dessen Spektrum charakteristisch für den artikulierten Plosiv ist. Allen Bursts verschiedener Plosive ist jedoch gemeinsam, daß sie sehr breitbandig und von äußerst kleiner Zeitdauer sind. Demzufolge ist die Diskrimination zwischen Plosiven anhand des Merkmals *Burst* nur aufgrund des Erkennens von Amplitudendifferenzen in verschiedenen Frequenzbereichen möglich und verlangt von den Probanden (Pbn) ein intaktes Zeitauflösungsvermögen. Halle, Hughes und Radley (1957) teilen zwar mit, daß /p/ und /b/ ihre größte Energie zwischen 500 und 1500 Hz haben; /t/ und /d/ konzentrierte Energie bei 500 und oberhalb von 4000 Hz und /k/ und /g/ besonders im Bereich zwischen 1500 und 4000 Hz. Unsere Analysen können eine solch differenzierende Beschreibung jedoch nicht bestätigen. Es ist psychoakustisch zu untersuchen, ob die Bursts in einer Testsituation mit Hintergrundrauschen, wie sie in der frequenzspezifischen Sprachaudiometrie verwendet wird, ein verständlichkeitsrelevantes Merkmal sein können.

Ein weiteres akustisches Merkmal, das zur Identifikation zur Verfügung steht, sind die einem Plosiv folgenden *Transitionen*. Sie sind eine Konsequenz der Koartikulation von Lauten und liegen im Initialteil nachfolgender Vokale. Kennzeichen der Transitionen ist, daß sie in einem bestimmten zeitlichen Bereich eine Frequenzmodulation² vollziehen, bevor sie in die eher frequenzstabilen Formaten der Vokale übergehen. Die Transitionen sind im Gegensatz zum Burst ein tieferfrequentes Merkmal. Beispielsweise beginnen die Transitionen des Plosivs /d/ bei nachfolgendem Vokal /o:/ aus dem Wort „Dohle“ bei ca. 300 Hz für die erste Transition, 1.6 kHz für die zweite, 2.4 kHz für die dritte und 3.4 kHz für die vierte Transition. Es wird jedoch in der Literatur diskutiert, ob die Transitionen für die Plosiverkennung in der Vergangenheit möglicherweise überschätzt wurden. Insbesondere Stevens und Blumstein 1978 sowie Blumstein und Stevens, 1979, 1980 schreiben den Transitionen eine deutlich geringere Rolle zu und verweisen stattdessen auf die Bedeutung des Spektrums des Bursts. Unsere Untersuchungen mit Frikativen zeigen jedoch, daß die Transitionen besonders unter Störlärm (weißes Rauschen) eine äußerst wichtige Informationsquelle sind. Für die Plosive ist dies im folgenden noch zu prüfen.

Die *Voice-Onset-Time* (VOT) schließlich bietet die Möglichkeit zur Unterscheidung zwischen stimmhaften und stimmlosen Plosiven. Die VOT ist definiert als das Zeitintervall zwischen der Freigabe des Luftstroms beim Burst und dem Beginn der Schwingung der Stimmbänder beim nachfolgenden Vokal.

Ein viertes Merkmal der Plosiverkennung liegt in der Nutzung der Dauer der *Mikropause*, die bei wortmedialen Plosiven durch den Verschuß der Vokaltraktes entsteht.

Um entscheiden zu können, ob Plosive geeignet sind, die frequenzspezifische Sprachaudiometrie auf den Mitteltonbereich zu erweitern, müssen folgende Probleme und Fragen geklärt werden:

- a) Eine Identifikation des Plosivs aufgrund zeitlicher cues wie Mikropause und VOT sollte ausgeschlossen werden, da sonst die vorzunehmende frequenzspezifische Interpretation mit dem Zeitauflösungsvermögen des Probanden konfundiert ist. Um dies zu erreichen, werden ausschließlich Testwörter mit wortinitialem stimmhaften Plosiv verwendet, denn hierbei ist keine VOT gegeben und eine Mikropause ist ebenfalls nicht auswertbar.
- b) Es muß sichergestellt werden, daß die Erkennung des Plosivs der Testwörter bei Hintergrundrauschen nur durch die Nutzung der tief- und mittelfrequenten Transitionen geleistet werden kann. Die Erkennung anhand des Bursts sollte ausgeschlossen werden, da sonst die frequenzspezifische Interpretation nicht möglich ist.
- c) Normalhörende sollten in der Lage sein, das Testmaterial korrekt und bei übereinstimmenden Schwierigkeiten (SR) zu identifizieren. Über die Signalrauschabstände sollte sich eine

² Unter einer Frequenzmodulation wird im allgemeinen eine periodische positive oder negative Änderung der Frequenz verstanden. Der Begriff ist aber nach Keidel (1975) auch auf Schalle anwendbar, bei denen die Frequenzänderung vorwiegend in einer Richtung stattfindet. In dieser letzteren Bedeutung wird er hier verwendet.

Verständlichkeitsfunktion mit eindeutigem und steilem Übergang ergeben. Die Anzahl der Verwechslungen sollte bei Normalhörenden minimal sein. Sofern die oben geschilderten Punkte a und b gegeben sind, müßten die zur Identifikation herangezogenen Transitionen damit für den Plosiv spezifisch sein.

III - 4.3.2.1.1 Versuchsfragen

Aufgabe der folgenden Untersuchung ist es, bei den Testwörtern „Banken“, „Danken“, „Bienen“, „Dienen“, „Bohle“ und „Dohle“ zu klären, welchen Einfluß der Burst, bzw. die Transitionen auf die Plosivverständlichkeit haben, und ob die Plosive dieser Testwörter von Normalhörenden bei verschiedenen Signalrauschabständen mit den Plosiven andere Testwörter verwechselt werden.

III - 4.3.2.1.2 Methode und Wortmaterial

Zur Beantwortung der gestellten Fragen wird eine Methode eingesetzt, bei der einzelne Merkmale wie Bursts oder Transitionen wechselseitig zwischen zwei zueinander passenden Testwörtern ausgetauscht werden (s. Abbildung 20). Beispielsweise kann der Burst von „Banken“ mit dem Burst von „Danken“ ausgetauscht werden, womit man das Wort „Banken“ mit /d/-Burst erhält und „Danken“ mit /b/-Burst. Ergeben sich durch diese Burstvertauschung bei der Darbietung der Testwörter an verschiedenen Signalrauschabständen mehr Verwechslungen als bei den gleichen Testwörtern ohne Burstvertauschung, dann muß der Burst als ein Merkmal angesehen werden, daß von den Pbn zur Identifikation genutzt wird. In diesem Fall ist ein solches Wort für die frequenzspezifische Sprachaudiometrie nicht geeignet.

Bei einem gegenseitigen Austausch der Transitionsbereiche (s. Abbildung 20) hingegen soll es zu Verwechslungen kommen, denn diese zeigen an, daß die Plosiverkennung unter den Testbedingungen ausschließlich anhand des Merkmals Transition vorgenommen wird. Testwörter mit Plosiven, deren Transitionen spezifisch sind, sind potentiell geeignet für eine frequenzspezifische Sprachaudiometrie, sofern sich bei ihnen eine Verständlichkeitsfunktion mit eindeutigem Übergang ermitteln läßt.

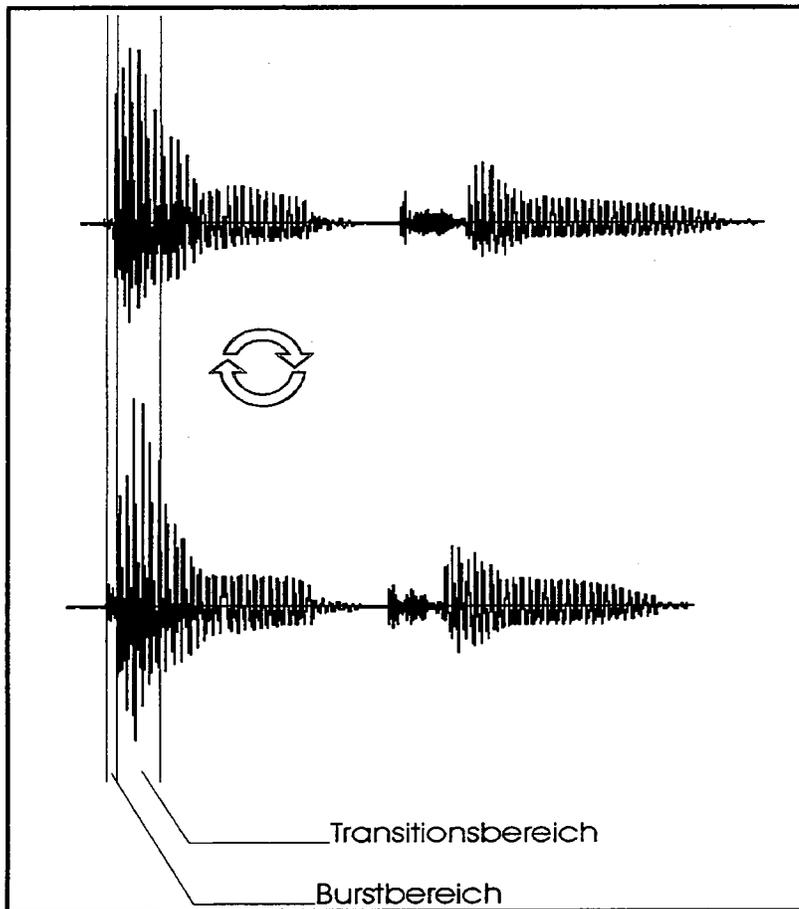


Abbildung 27. Veranschaulichung des wechselseitigen Austauschs von Burst- und Transitionsbereich zwischen den beiden Wörtern "Banken" und "Danken".

III - 4.3.2.1.3 Versuchsaufbau und Versuchspersonen

Um die gestellten Fragen zu beantworten, wurden insgesamt sechs Wortbedingungen konzipiert, die im folgenden erläutert werden.

- 1) **B-natürlich:** In dieser Wortbedingung befinden sich die drei Testwörter „Banken“, „Bienen“, und „Bohle“. An ihnen wurde nichts verändert. Diese Wortbedingung dient dazu, die Verständlichkeitsfunktion und die Häufigkeit der Verwechslungen im natürlichen B-Wort zu ermitteln.
- 2) **D-natürlich:** In dieser Wortbedingung befinden sich die drei Testwörter „Danken“, „Dienen“, und „Dohle“. An ihnen wurde nichts verändert. Diese Wortbedingung dient dazu, die Verständlichkeitsfunktion und die Häufigkeit der Verwechslungen im natürlichen D-Wort zu ermitteln.
- 3) **B mit D-Transitionen:** Dies sind die gleichen Testwörter wie in der Wortbedingung B-natürlich. Bei ihnen wurden jedoch 50 ms des Vokalinitialteils mit den Testwörtern der

Wortbedingung D-natürlich ausgetauscht. Damit soll die Spezifität der Transitionen für den entsprechenden Plosiv geprüft werden.

- 4) **D mit B-Transitionen:** Dies sind die Testwörter wie in der Wortbedingung D-natürlich. Bei ihnen wurden jedoch 50 ms des Vokalinitialteils mit den Testwörtern der Wortbedingung B-natürlich ausgetauscht. Damit soll die Spezifität der Transitionen für den entsprechenden Plosiv geprüft werden.
- 5) **B mit D-Burst:** Bei diesen B-Wörtern wurde der Burst mit dem entsprechenden Burst der D-Wörter getauscht. Hierbei geht es um die Überprüfung der Verständlichkeitsrelevanz des Merkmals Burst.
- 6) **D mit B-Burst:** Bei diesen D-Wörtern wurde der Burst mit dem entsprechenden Burst der B-Wörter getauscht. Hierbei geht es um die Überprüfung der Verständlichkeitsrelevanz des Merkmals Burst.

Tabelle 14. Überblick über die in der Untersuchung verwendeten Wortbedingungen, Testwörter und Signalrauschabstände (SR-Abstand)

SR-Abstand	-15	-11	-7	-3	+1
Wortbedingung					
B-natürlich	Banken Bienen Bohle	Banken Bienen Bohle	Banken Bienen Bohle	Banken Bienen Bohle	Banken Bienen Bohle
D-natürlich	Danken Dienen Dohle	Danken Dienen Dohle	Danken Dienen Dohle	Danken Dienen Dohle	Danken Dienen Dohle
B mit D-Transitionen	Banken Tr.-get. Bienen TR.-get. Bohle Tr.-get.				
D mit B-Transitionen	Danken Tr.-get. Dienen Tr.-get. Dohle Tr.-get.				
B mit D-Burst	Banken D-Burst Bienen D-Burst Bohle D-Burst	Banken D-Burst Bienen D-Burst Bohle D-Burst	Banken D-Burst Bienen D-Burst Bohle D-Burst	Banken D-Burst Bienen D-Burst Bohle D-Burst	Banken D-Burst Bienen D-Burst Bohle D-Burst
D mit B-Burst	Danken B-Burst Dienen B-Burst Dohle B-Burst	Danken B-Burst Dienen B-Burst Dohle B-Burst	Danken B-Burst Dienen B-Burst Dohle B-Burst	Danken B-Burst Dienen B-Burst Dohle B-Burst	Danken B-Burst Dienen B-Burst Dohle B-Burst

In den folgenden Formantanalysen ist jeweils im linken Teil der Abbildung der Wortbeginn eines der Testwörter aus den Wortebedingungen „B-natürlich“, bzw. „D-natürlich“ dargestellt. Der jeweils rechte Teil zeigt, wie sich der Verlauf der Transitionen ändert, wenn der Austausch mit den Transitionen des Alternativwortes vorgenommen wurde. In Abbildung 28 beispielsweise ist im linken Teil der Wortbeginn „Ban“ aus dem Testwort „Banken-natürlich“ dargestellt. Im rechten Teil der Abbildung 28 wurden die /d/-Transitionen anstelle der ursprünglichen /b/-Transitionen in „Banken“ eingefügt. Deutlich sichtbar ist die Veränderung der Frequenzmodulation bei der zweiten und höheren Transitionen. Bei eingetauschten /d/-Transitionen vollziehen sie eine Abwärtsbewegung in der Frequenz. Vergleicht man den rechten Teil von Abbildung 28 mit dem linken Teil von Abbildung 31, also dem Teilstück „Dan“ aus Danken, dann ist eine große Übereinstimmung festzustellen. Sind die Transitionen für die korrekte Identifikation bedeutsam, dann sollten sich bei „Banken“ mit /d/-Transitionen sehr viele /d/-Antworten ergeben.

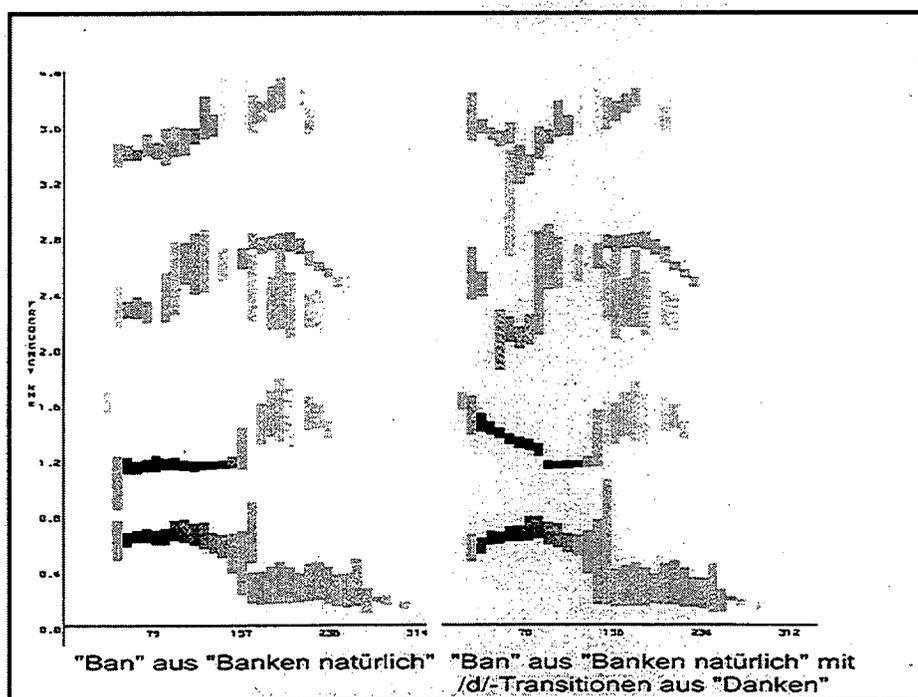


Abbildung 28. LPC-Analyse des Wortbeginns von „Banken“. Links mit den original Transitionen, rechts mit den eingetauschten Transitionen aus „Danken“. Procedure: LPC; 512 Points; 256 Bands, 50% Overlap; Hamming, sample frequency = 30 kHz; 98% Preemphasis. Order = 14.

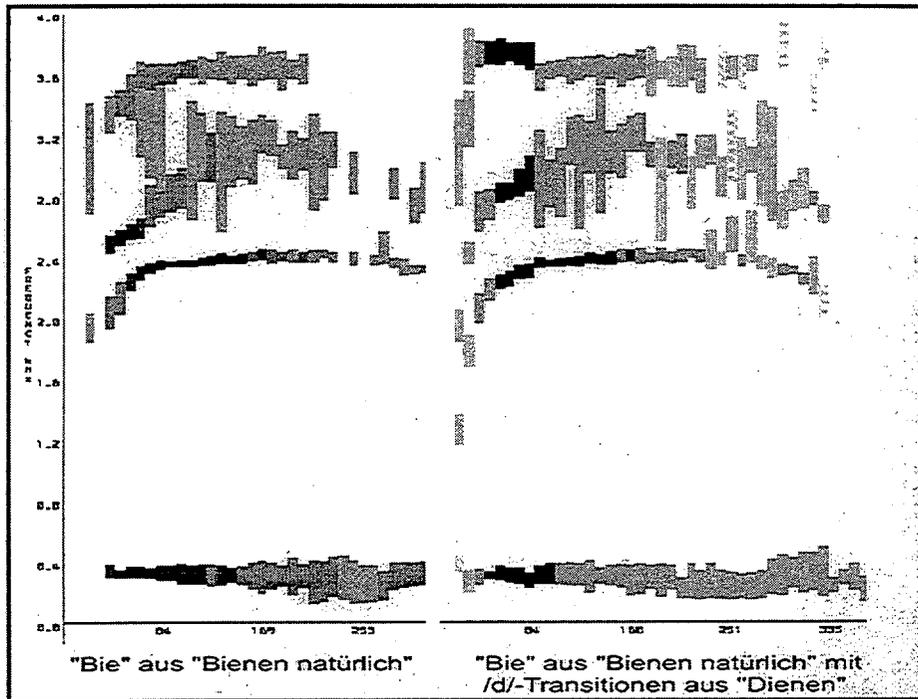


Abbildung 29. LPC-Analyse des Wortbeginns von „Bienen“. Links mit den original Transitionen, rechts mit den eingetauschten Transitionen aus „Dienen“. Procedure: LPC; 512 Points; 256 Bands, 50% Overlap; Hamming, sample frequency = 30 kHz; 98% Preemphasis. Order = 14.

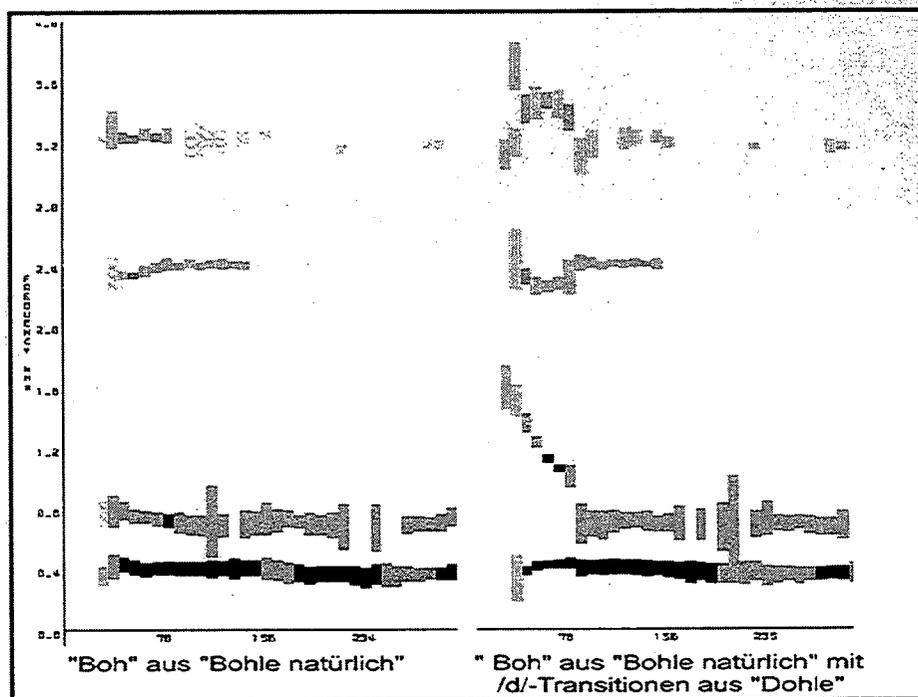


Abbildung 30. LPC-Analyse des Wortbeginns von „Bohle“. Links mit den original Transitionen, rechts mit den eingetauschten Transitionen aus „Dohle“. Procedure: LPC; 512 Points; 256 Bands, 50% Overlap; Hamming, sample frequency = 30 kHz; 98% Preemphasis. Order = 14.

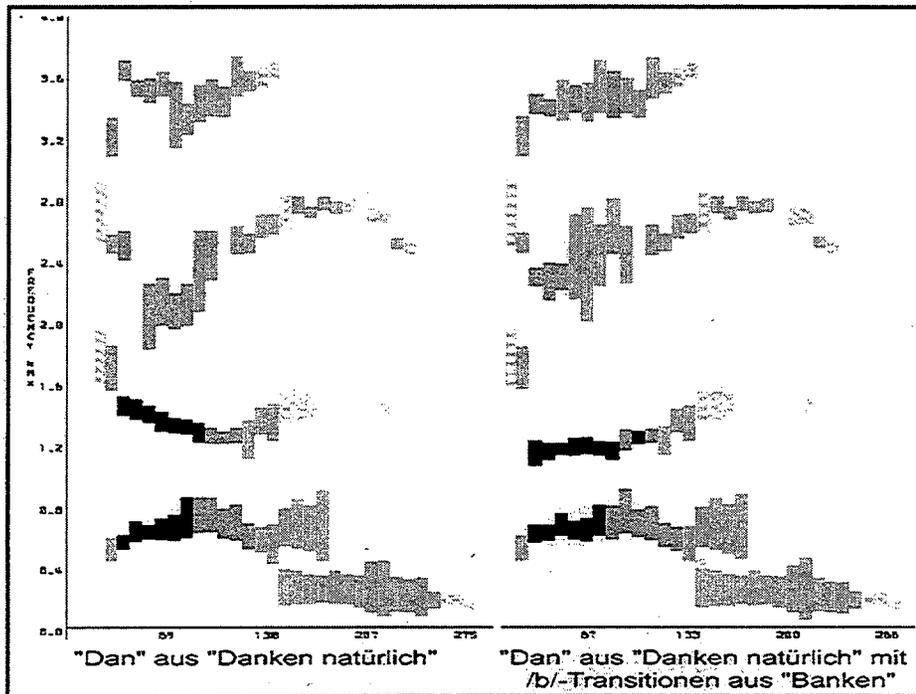


Abbildung 31. LPC-Analyse des Wortbeginns von „Danken“. Links mit den original Transitionen, rechts mit den eingetauschten Transitionen aus „Banken“. Procedure: LPC; 512 Points; 256 Bands, 50% Overlap; Hamming, sample frequency = 30 kHz; 98% Preemphasis. Order = 14.

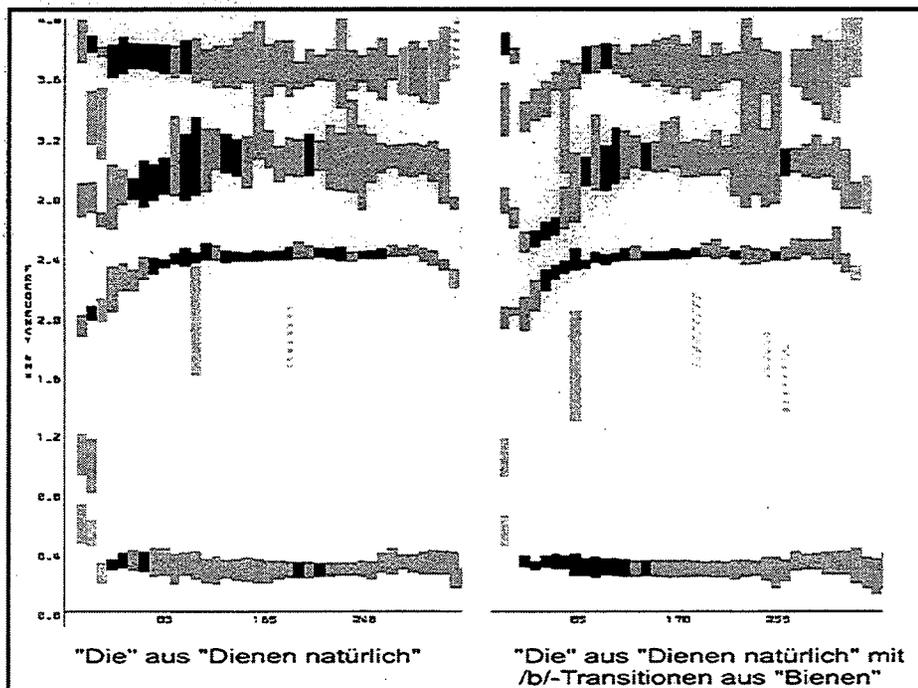


Abbildung 32. LPC-Analyse des Wortbeginns von „Dienen“. Links mit den original Transitionen, rechts mit den eingetauschten Transitionen aus „Bienen“. Procedure: LPC; 512 Points; 256 Bands, 50% Overlap; Hamming, sample frequency = 30 kHz; 98% Preemphasis. Order = 14.

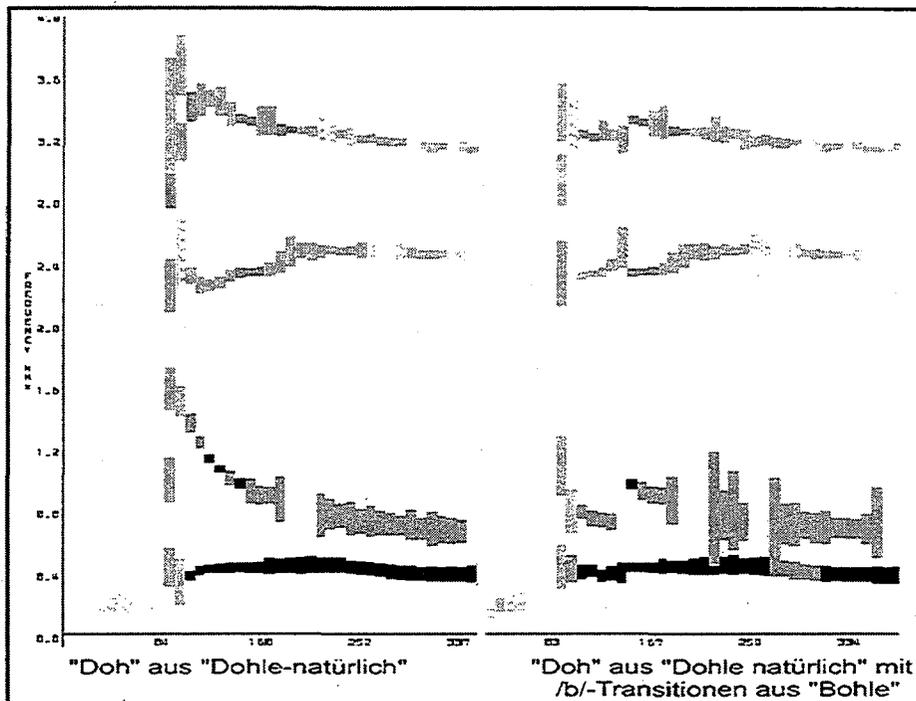


Abbildung 33. LPC-Analyse des Wortbeginns von „Dohle“. Links mit den original Transitionen, rechts mit den eingetauschten Transitionen aus „Bohle“. Procedure: LPC; 512 Points; 256 Bands, 50% Overlap; Hamming, sample frequency = 30 kHz; 98% Preemphasis. Order = 14.

Mit Ausnahme der Testwörter „Bienen“ und „Dienen“ kommt es durch den Austausch der Transitionen immer zu deutlichen Änderungen zumindest im Verlauf der Transition des zweiten Formanten. Bei „Bienen“- „Dienen“ jedoch treten lediglich in der dritten und besonders vierten Transition Änderungen auf, wenn ein Austausch vorgenommen wurde.

Vor der Darbietung wurden die Testwörter über den Kennwert RMS-Pegel des ersten Vokals auf einen Darbietungspegel von 70 dB eingestellt. Zur Realisierung verschiedener Signalrauschabstände wurde ein weißes Rauschen im Darbietungspegel variiert. Der Testverlauf wurde so gestaltet, daß der Signalrauschabstand und damit die Schwierigkeit in der Tendenz, jedoch nicht systematisch zunimmt.

An der Untersuchung nahmen insgesamt 20 Versuchspersonen (Vpn) teil (Studierende der Psychologie im Grundstudium). Es wurden keine Hörschwellen gemessen, aber die Vpn wurden auf bestehende Hörprobleme hin befragt. Keine der Vpn hatte bis zum Zeitpunkt der Untersuchung Hörprobleme erlebt.

III - 4.3.2.1.4 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt deskriptiv qualitativ. Für die einzelnen Wortbedingungen wurde bei den verschiedenen Signalrauschabständen die Häufigkeiten des korrekten Hörens (Verständlichkeitsfunktion) sowie der Verwechslungen (Verwechslungsfunktion) bestimmt und in ein Diagramm eingetragen. Bei 20 Vpn hat ein Testwort somit ein Gewicht von

5%. In einer Abbildung werden gemeinsam die Ergebnisse eines Testwortes aus der Wortbedingung B- oder D-natürlich gezeigt sowie die Resultate, wenn in ein solches Wort „falsche Transitionen“, bzw. ein „falscher Burst“ eingetauscht wurde.

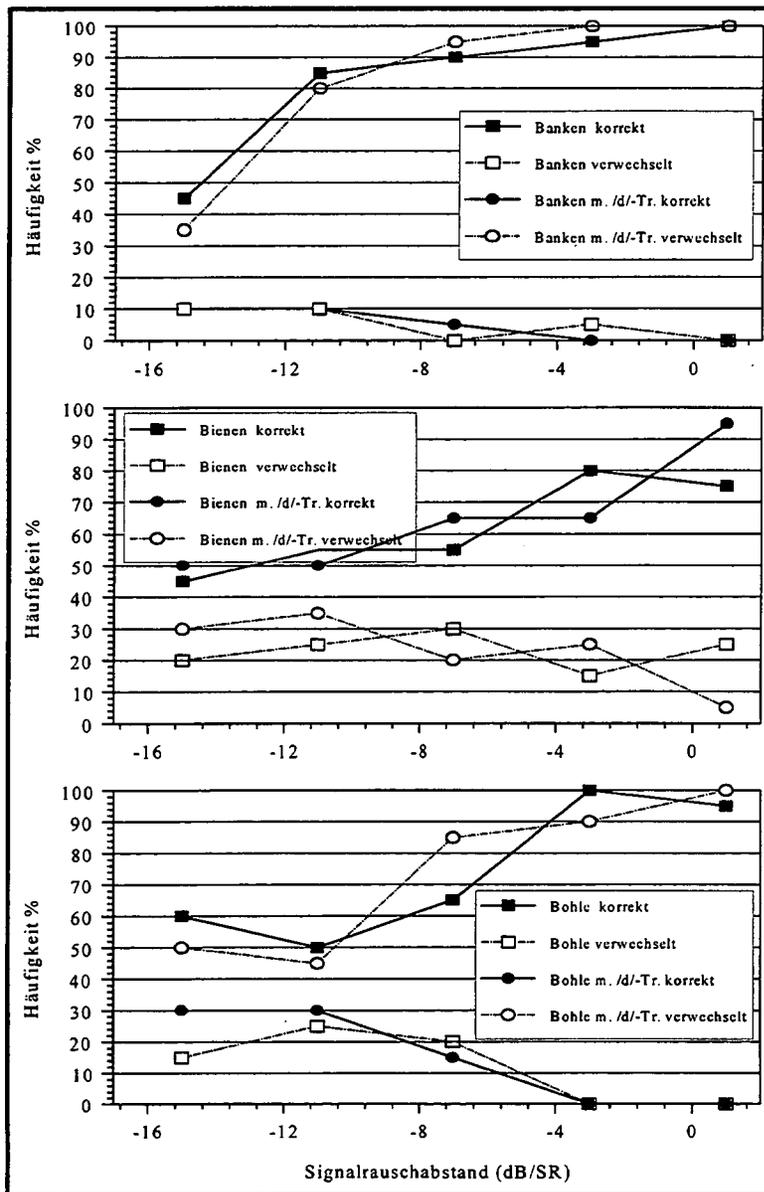


Abbildung 34. Wortspezifische Ergebnisse für die drei B-Wörter der Wortbedingungen „B-natürlich“ und „B mit D-Transitionen“.

Im oberen Drittel der Abbildung 34 beispielsweise sind die Ergebnisse für das Testwort „Banken-natürlich“ und „Banken mit /d/-Transitionen“ eingezeichnet. Für das nicht manipulierte Wort ergibt sich eine eindeutige Verständlichkeitsfunktion, die nur aufgrund der gewählten Signalrauschabstände nicht komplett erfasst wurde (schwarze Quadrate, durchgezogene Linie). Die Anzahl der Verwechslungen liegt bei maximal 10%, also zwei Testwörtern

(weiße Quadrate, unterbrochene Linie). Werden in dieses Wort die /d/-Transitionen aus „Danken-natürlich“ eingetauscht, dann wird es nur noch in höchstens 10% der Fälle als *Banken* erkannt (schwarze Punkte, durchgezogene Linie), ansonsten aber als *Danken* verwechselt (weiße Punkte, unterbrochene Linie). Da die korrekte Identifikation deutlich durch das Merkmal Transition beeinflusst ist, und damit die erste Voraussetzung für die Eignung zur frequenzspezifischen Sprachaudiometrie gegeben ist, muß nun als zweites die Frage geklärt werden, ob ein Austausch des Bursts die gleichen Auswirkungen hat. Betrachtet man das obere Diagramm in Abbildung 36, dann wird sofort deutlich, daß ein Austausch des /b/-Bursts mit dem /d/-Burst so gut wie keinen Effekt auf die korrekte /b/-Verständlichkeit hat. Da die beiden oben genannten Kriterien für *Banken* erfüllt sind, ist es ein potentiell geeignetes Testwort für den Mitteltonbereich einer frequenzspezifischen Sprachaudiometrie.

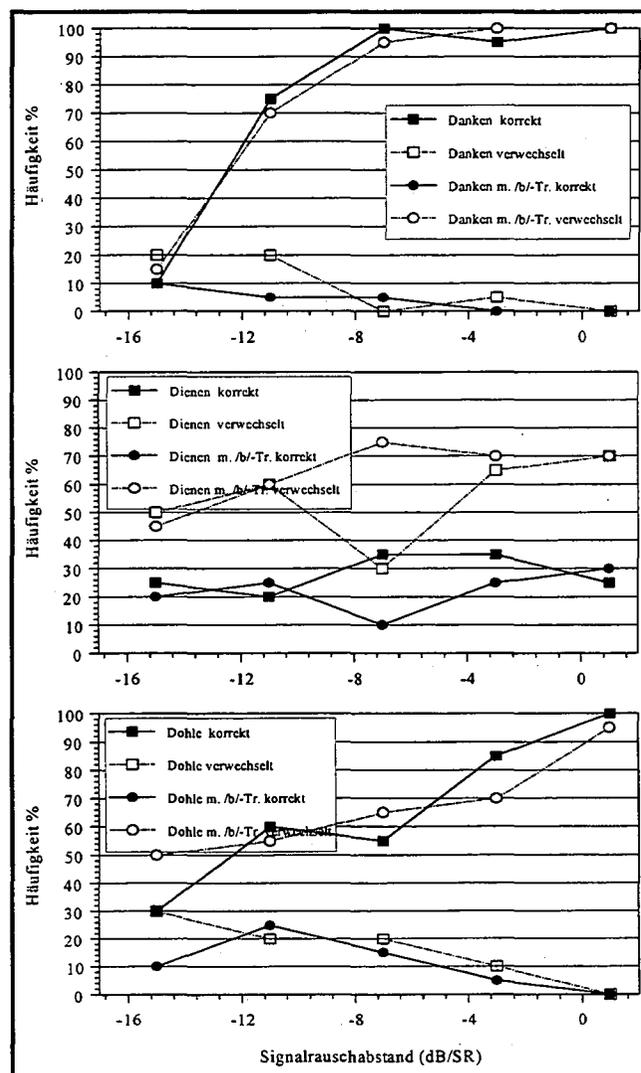


Abbildung 35. Wortspezifische Ergebnisse für die drei D-Wörter der Wortbedingungen „D-natürlich“ und „D mit B-Transitionen“.

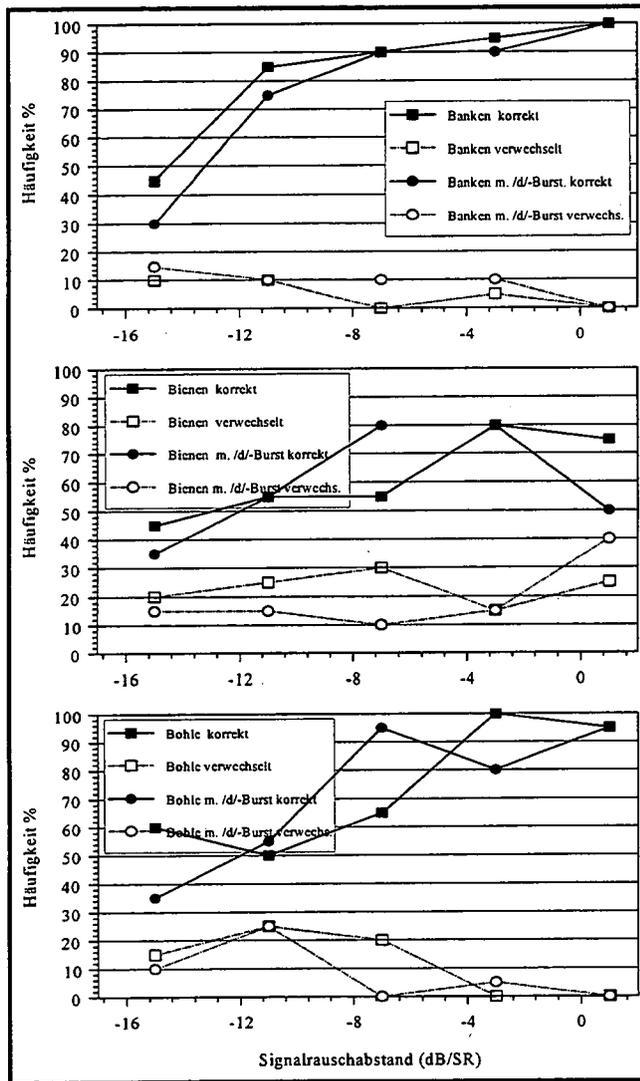


Abbildung 36. Wortspezifische Ergebnisse für die drei B-Wörter der Wortbedingungen „B-natürlich“ und „B mit D-Burst“.

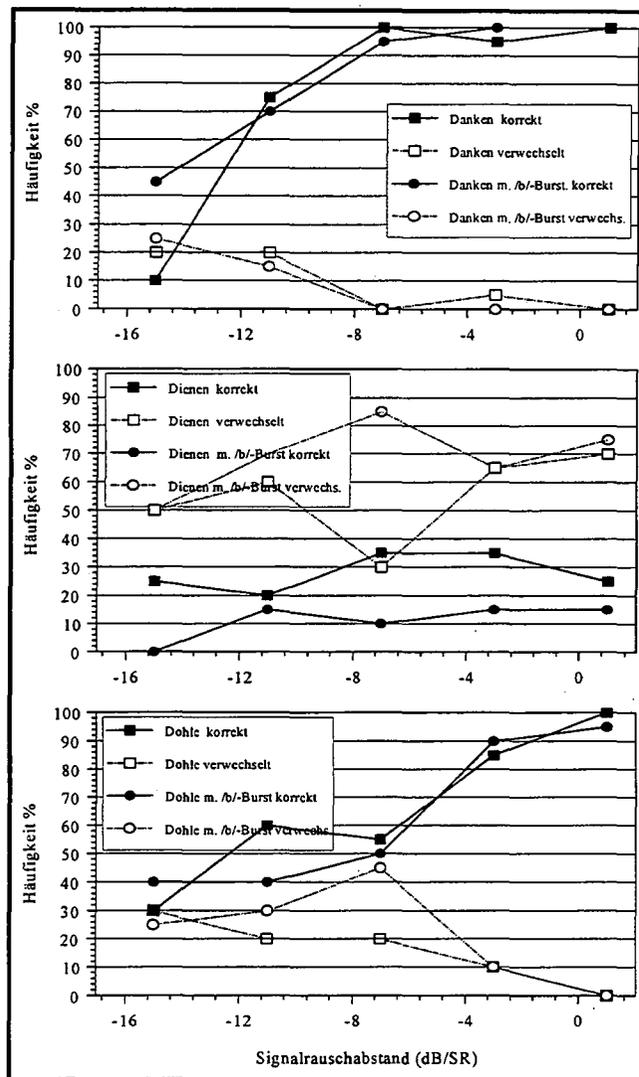


Abbildung 37. Wortspezifische Ergebnisse für die drei D-Wörter der Wortbedingungen „D-natürlich“ und „D mit B-Burst“.

Betrachtet man die Ergebnisse für die anderen beiden B-Wörter in Abbildung 36, dann zeigt sich für „Bienen“, daß ein Austausch der Transitionen zu keiner Veränderung der /b/-Verständlichkeit führt. Außerdem wird bereits das nicht manipulierte Wort „Bienen-natürlich“ von Normalhörenden mit einer Häufigkeit von bis zu 30% verwechselt und scheidet damit von vornherein aus.

Bei „Bohle“ (unteres Diagramm in Abbildung 36) tritt das Problem auf, daß keine eindeutige Verständlichkeitsfunktion ermittelt werden konnte. Außerdem wird bereits das unmanipulierte Testwort von Normalhörenden in bis zu einem Viertel der Fälle verwechselt.

Von den getesteten B-Wörtern ist nach dieser Untersuchung nur das Wort „Banken“ geeignet.

Bei den D-Wörtern sieht es ähnlich aus. Für „Danken-natürlich“ (oberes Diagramm in Abbildung 37) läßt sie eine eindeutige Verständlichkeitsfunktion ermitteln. Die Zahl der Ver-

wechslungen ist noch akzeptabel. Die Transitionen sind das einzige identifikationsrelevante Merkmal. Eine Vertauschung der Bursts hat keinerlei Effekt.

Das Wort „Dienen-natürlich“ (mittleres Diagramm in Abbildung 35) scheidet auf Anhieb aus, da es von den Vpn häufiger verwechselt als korrekt gehört wurde.

Das Wort „Dohle-natürlich“ wäre noch geeignet, wenn nicht eine Vertauschung der Burst einen Einfluß auf die Häufigkeit der Verwechslungen gehabt hätte (unteres Diagramm in Abbildung 37). Da dies jedoch so ist, kann nicht mehr gewährleistet werden, daß die Plosiverkennung ausschließlich anhand der Transitionen im Mitteltonbereich vorgenommen wird.

Von den hier auf ihre Eignung für eine frequenzspezifische Sprachaudiometrie geprüften sechs Testwörtern sind nur die beiden Wörter „Banken“ und „Danken“ geeignet.

III - 4.3.2.1.5 Diskussion

In Zusammenhang mit der in der Literatur diskutierten Frage der Bedeutsamkeit von Transitionen für die Plosivdiskrimination muß in Anbetracht der hier vorliegenden Ergebnisse bei weißem Hintergrundrauschen festgehalten werden, daß die Transitionen mit Ausnahme des Testwortes „Bienen“ das Hauptmerkmal der korrekten Erkennung sind.

Das Merkmal Burst hingegen kann sich in der Störgeräuschsituation nicht durchsetzen. Die einzige Ausnahme bildet hierbei das Testwort „Dienen“ (Abbildung 37, Mitte). Hierbei ist zu beachten, daß „Dienen“ bereits mit dem originalen /d/-Burst und den passenden Transitionen überwiegend als „Bienen“ gehört wird. Ein zusätzliches Einwechseln des /b/-Bursts erhöht nur noch die Häufigkeit der /b/-Antworten. Ungeachtet dieses Erkenntnisgewinns sind jedoch nur zwei der sechs getesteten Wörter potentiell geeignet, um im Rahmen einer frequenzspezifischen Sprachaudiometrie für den Mitteltonbereich eingesetzt zu werden. Dies ist jedoch zu wenig, um daraus schon einen Test zu gestalten.

III - 4.3.2.2 /b/-/d/-Diskrimination bei Stimmengewirr

Parallel zur Untersuchung des Beitrags von Burst und Formanttransitionen zur Diskrimination von /b/ und /d/ im Anlaut, wurden bei 7 Normalhörigen Pbn die Übergangsfunktionen für die Wortpaare *Bank-Dank*, *Bohle-Dohle*, *Becken-Decken* und *Bienen-dienen* bei 70 dB Stimmengewirr gemessen.

Die Darbietung erfolgte computergesteuert über den offenen Kopfhörer Jecklin Float. Die Signalrauschabstände wurden durch Variation der Wortpegel hergestellt, das Stimmengewirr wurde auf 70 dB konstant gehalten. Es wurde das digital gemischte Stimmengewirr verwendet.

Jedes Testwort wurde bei jedem der 7 Signalrauschabstände einmal dargeboten. Insgesamt mußten also 56 Items beantwortet werden. Die Abfolge der Darbietungen war so angelegt, daß

die Testschwierigkeit am Testanfang niedrig und gegen Ende des Tests hoch war. Zwischen-
 durch waren aber auch immer wieder leichtere Items eingestreut, damit sich nicht gegen Test-
 ende die **nicht gehörten** Items häufen und die Konzentration der Pbn nachläßt.

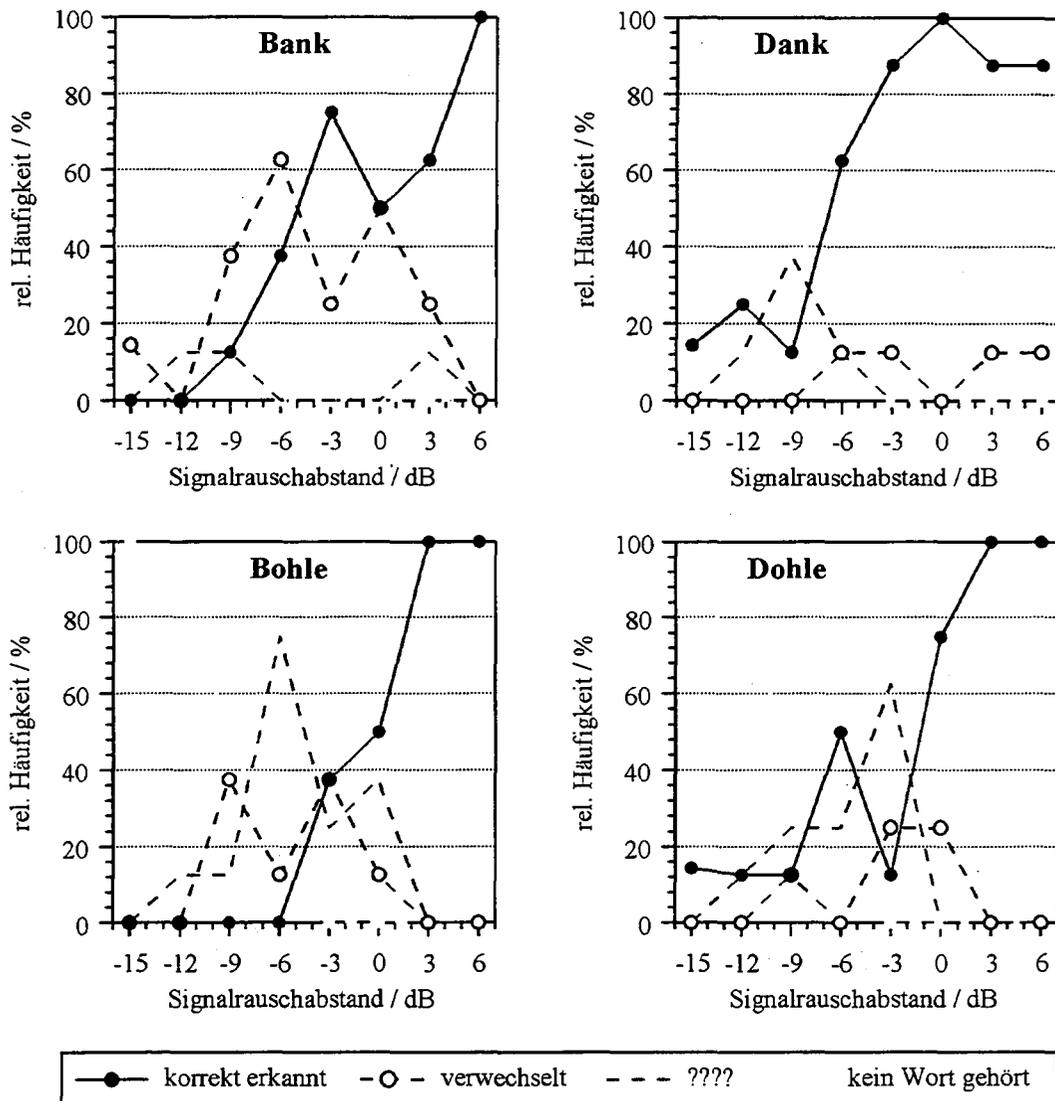


Abbildung 38. Mittlere Sprachtestergebnisse (N=7) für die /b/-/d/-Diskrimination für die Testwörter *Bank*, *Dank*, *Bohle* und *Dohle* aufgeschlüsselt nach **korrekten Antworten**, **Verwechslungen**, **????** (nicht genau erkannt) und **kein Wort gehört**.

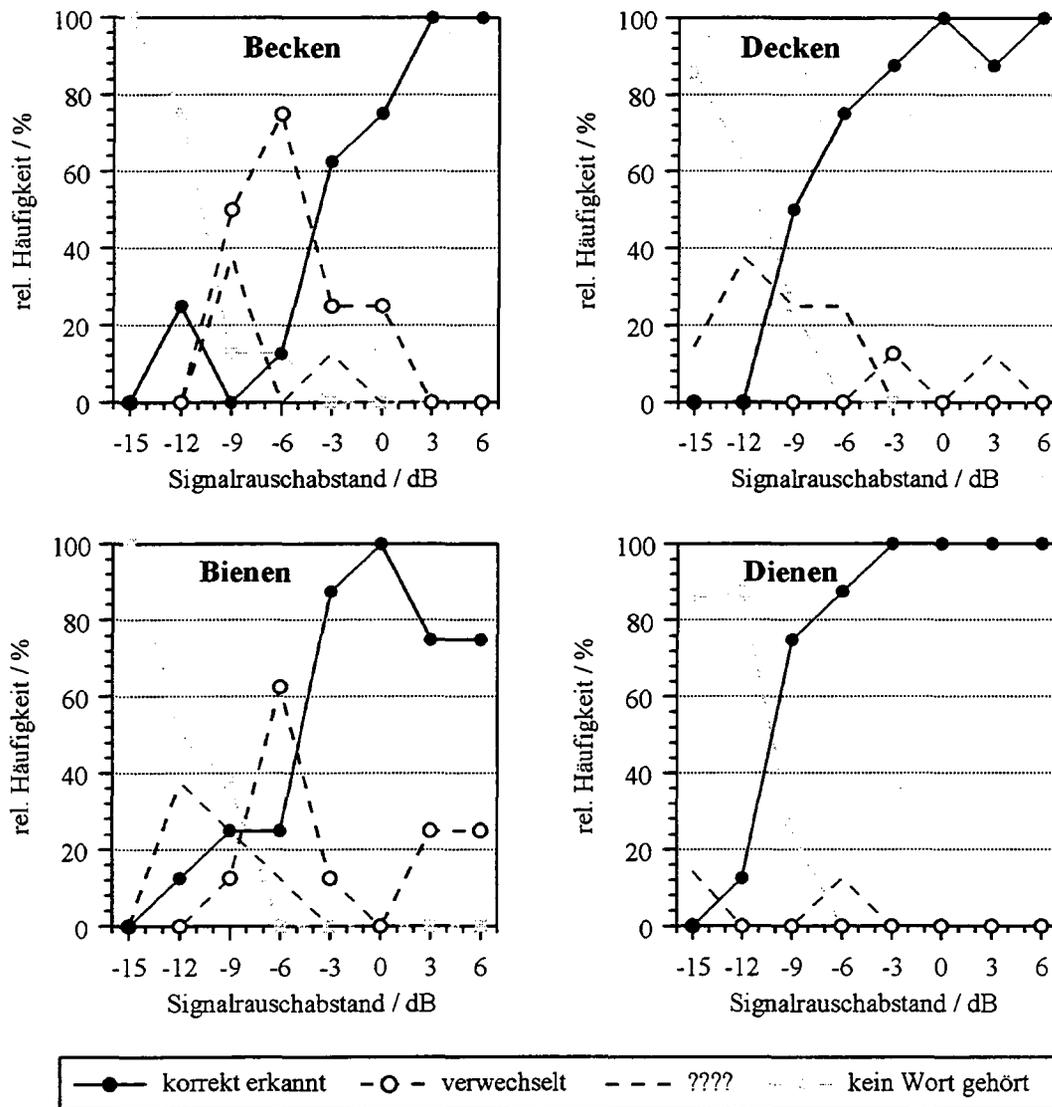


Abbildung 39. Mittlere Sprachtestergebnisse (N=7) für die /b-/d-Diskrimination für die Testwörter *Becken*, *Decken*, *Bienen* und *Dienen* aufgeschlüsselt nach **korrekten Antworten**, **Verwechslungen**, **???** (nicht genau erkannt) und **kein Wort gehört**.

Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen die mittleren Antworten der 7 Pbn zu jedem Testwort bei jedem Signalrauschabstand. Es wird deutlich, daß die Wörter mit /b/-Anlaut bereits Normalhörigen deutliche Schwierigkeiten bereiten. *Bienen* wird bereits bei den leichtesten Signalrauschabständen (SR) verwechselt und ist damit generell nicht geeignet; *Bank* zeigt eine ähnliche Tendenz, wenn auch nicht ganz so stark; *Bohle* wird sehr häufig mit Fragezeichen beantwortet, d.h. die Pbn können nicht erkennen, ob *Bohle* oder *Dohle* dargeboten wurde; *Bekken* wird bei den leichten SR noch korrekt verstanden, aber die Verwechslungen erreichen bei -6 dB SR fast 80% der Antworten. Die ausgewählten Wörter mit /b/-Anlaut sind für Normalhörige zu schwer zu verstehen, was auch an den sehr großen Übergangsbereichen von 18 dB bis 21 dB von 0% bis 100% Verständlichkeit deutlich wird. Lediglich *Bohlen* hat mit 9 dB eine ausreichend steile Übergangsfunktion, ist aber leider aufgrund der häufigen Fragezeichen nicht geeignet. Die Wörter mit /d/-Anlaut werden nur selten verwechselt, die Abnahme der

Verständlichkeit geht auf **Fragezeichen** und meist auf **kein Wort gehört** zurück. *Dohle* und *Decken* werden etwas zu häufig mit Fragezeichen beantwortet und *Dank* hat einen zu großen Übergangsbereich von 0% bis 100% Verständlichkeit. Mit einer prägnanten und ausreichend steilen Übergangsfunktion (12 dB SR) scheint *Dienen* am besten geeignet. Die Ergebnisse der Untersuchung zur Ermittlung des Beitrags von Burst und Plosiv-Vokaltransitionen an der /b/-/d/-Diskrimination hatte gezeigt, daß ausgerechnet *Dienen* das einzige Wort war, bei dem die Burst-Vertauschung zu erhöhten Verwechslungen innerhalb der Wortpaare führte, also ein wichtiges Merkmal zur Erkennung der Plosive ist. Mit weißem Rauschen als Störgeräusch wurde auch *Dienen* sehr häufig verwechselt.

III - 4.3.2.3 Fazit

Betrachtet man die Ergebnisse beider Untersuchungen zur Verwendung der /b/-/d/-Diskrimination für die Messung des Hörverlusts im Mitteltonbereich, dann ist die Voraussetzung für eine umfangreiche Überprüfung der Frequenzspezifität mit simulierter Schwerhörigkeit und bei einer Vielzahl von Schwerhörigen nicht gegeben.

III - 4.4 Untersuchungen zur Reliabilität des Sprachtestverfahrens

Ende 1992 und Anfang 1993, wegen baulicher Maßnahmen am Hauptgebäude für kurze Zeit unterbrochen, fanden im Institut ausführliche Untersuchungen an ausgewählten Pbn statt, um die Retest-Reliabilität des aktuellen Sprachtestverfahrens zu bestimmen. Anhand der Kurzuntersuchungen in der AOK wurden 24 Pbn ausgewählt, die insgesamt durch eine gute Variation der Schwerhörigkeit eine geeignete Stichprobe zur Untersuchung der Reliabilität bilden. Jeder Pb kommt zu 4 jeweils dreistündigen Terminen innerhalb von 2 Wochen. Das Untersuchungsprogramm hängt im Detail vom Hörvermögen und der allgemeinen Leistungsfähigkeit des individuellen Pbn ab, wobei aber in jedem Fall eine Wiederholungsmessung des Sprachtests und des Ruhehörfeldes an zwei aufeinanderfolgenden Terminen durchgeführt wird.

III - 4.4.1 Methode

Jeder Pb wird an mindestens zwei aufeinanderfolgenden Terminen mit dem Sprachtest untersucht. Es wurden zwei Versionen des Sprachtests eingesetzt: eine Kurzversion mit 80 Items und eine Langversion mit 140 Items. Beide Versionen werden im nächsten Abschnitt beschrieben. Manche Personen wurden mit beiden Sprachtestversionen untersucht, andere nur mit entweder der Kurzform oder der Langform. Dies hing davon ab, wieviele Tests ein Pb in einer Sitzung ohne Ermüdungserscheinungen bewältigen konnte. Für die Ermittlung der Test-Retest-Korrelationen werden zunächst pro Person maximal 2 Resultate berücksichtigt, d.h. es werden die Messungen für beide Ohren berücksichtigt, sofern beide Ohren noch über eine ausreichende Restdynamik verfügten. Liegen für eine Person die Ergebnisse sowohl für den Kurztest als auch für die Langform vor, so werden nur die Ergebnisse der Langform berücksichtigt. Die Bestimmung der Reliabilität erfolgt für die Messung ohne und mit Hörgerät ge-

trennt, zusätzlich wird aber auch noch die Gesamtreliabilität über die Messungen ohne und mit Hörgerät gemeinsam berechnet (hier können pro Person maximal 4 Messungen eingehen).

III - 4.4.1.1 Testaufbau

III - 4.4.1.1.1 Sprachtestversion 1: Kurztest

Diese Version ist als Kurztest angelegt, mit dem ein großer Signalrauschabstandsbereich (SR) mit jeweils nur 2 Wörtern je Wortbedingung und Schwierigkeit (=SR) untersucht werden kann. Die Testschwierigkeit kann über die Wahl des Signalrauschabstandsbereichs bei Bedarf verändert werden, wenn man über tonaudiometrische Verfahren bereits Informationen über die frequenzspezifischen Hörverluste hat. Im Normalfall werden die 8 Signalrauschabstände auf den Bereich von +20 bis -8 dB mit 4 dB Stufung eingestellt. Die Zuordnung der 80 Testwörter zu den Bedingungen kann der Tabelle 15 entnommen werden.

Im Test wird die Diskrimination von Vokalen (*Eile*), S-natürlich (*Seile*) und S-künstlich (*SEile*) geprüft. Zusätzlich gibt es die Wortgruppe S-Vexier (*Eile*) zur Prüfung des Antwortverhaltens der Pbn, d.h. die Aufgabe ist eine S-Diskrimination, wobei das Wort ohne S-Anlaut dargeboten wird (z.B.: gefragt wird *Seile* - *Eile*, dargeboten wird *Eile*). Eine weitere Wortgruppe sind die sogenannten S-Transient-Vexierwörter, die S-Wörter sind, bei denen im Sample-Editor der Anlaut-Frikativ entfernt wurde, deren Vokalbeginn aber die Frikativ-Vokaltransitionen enthält. Bei entsprechender Itemschwierigkeit (=SR) sollten die Transitionen als Merkmal zur Frikativerkennung genutzt werden und das Wort mit Anlaut-/s/ gehört werden. (Vgl. dazu den Abschnitt **II.4.2.2 Bedeutung der Konsonant-Vokal-Transienten im Sprachtest**). Die Zuordnung eines Wortes zu dieser Gruppe wird durch Kleinschreibung (*eile*) angezeigt.

Tabelle 15. Zuordnung der Testwörter zu den Bedingungen des Kurztests. (S-Tr-Vexier = S-Transient-Vexier)

S/R	schwer	...	...	...	...	...	...	leicht
Vokale	Eule Warte	Eier Euer	Ahne Nein	Eile Worte	Worte Eile	Warte Nein	Eule Eier	Ahne Eier
S-künstlich	SEule SAhne	SEier SEule	SAhne SEin	SEile SORte	SORte SEile	SAhne SEin	SEule SEier	SORte SAhne
S-natürlich	Säule Sahne	Seier Säule	Sahne Sein	Seile Sorte	Sorte Seile	Sahne Sein	Säule Seier	Sorte Sahne
S-Vexier	Aal Eule	Eier Euer	Ahne Ein	Eile Orte	Orte eile	Aal Ein	Eule Eier	Orte Aal
S-Tr-Vexier	eule ahne	eier eule	ahne ein	eier orte	orte eier	ahne ein	eule eier	ahne orte

III - 4.4.1.1.2 Sprachtestversion 2: Langtest

Diese Version entsprach für die ersten Pbn genau dem Test, mit dem die Untersuchung des Beitrags der /s/-Vokal-Transienten zur S-Verständlichkeit durchgeführt wurde. Für die weiteren Untersuchungen wurde bei den Wortbedingungen S-natürlich und S-künstlich bei jedem Signalrauschabstand die Wortanzahl um eines verringert und bei den Wortbedingungen S-Transient-Vexier und S-Vexier um eines erhöht, so daß diese Bedingungen jetzt generell mit 4 Wörtern besetzt sind. Dadurch ist eine bessere Vergleichbarkeit gewährleistet. Die Testwortzuordnung der leicht korrigierten Version ist in Tabelle 16 aufgeführt.

Tabelle 16. Zuordnung der Testworte zu den Wortgruppen des Langtests in Vortest und Haupttest. (S-Tr-Vexier = S-Transient-Vexier)

Vortest

S/R	schwer	...	...	...	leicht
Vokale	Ahne Nein	Ahne Eule	Eier Ohne	Neun Nein	Warte Eile
S-künstlich	SEule SEin	SAhne SORte	SEier SORte	SEin SEule	SAhne SEile
S-natürlich	Sein Sahne	Säule Sahne	Seier Sorte	Sein Säule	Seile Saal
S-Tr-Vexier	Eier ahne	eule ahne	orte eier	eule ein	orte ein

Haupttest

S/R	schwer	...	...	...	leicht
Vokale	Warte Worte Eule Eile	Euer Nein Warte Eier	Nein Eule Ahne Eier	Eier Worte Ahne Eile	Ahne Worte Eile Euer
S-künstlich	SEule SORte SEile SAhne	SEier SAhne SEule SEin	Sein SEule SEier SAhne	SEile SORte SEier SEile	SAhne SEile SEule SORte
S-natürlich	Sorte Säule Seile Sahne	Säule Seier Sahne Sein	Sein Säule Seier Sahne	Sahne Sorte Seier Seile	Seile Säule Sorte Sahne
S-Vexier	Eule Aal Orte Eile	Eule Aal Eier Ein	Ahne Ein Eier Eule	Aal Orte Orte Eile	Orte Ahne Eile Eier
S-Tr-Vexier	ahne eule eier orte	ein eule ahne eier	ein eier eule ahne	orte orte eier ahne	orte eier ahne eule

Die Wortgruppen entsprechen denen des Kurztests, d.h. es wird die Diskrimination von Vokalen, S-natürlich und S-künstlich geprüft, mit S-Vexier das Antwortverhalten und mit S-Transient-Vexier der Beitrag der Frikativ-Vokal-Transitionen zur Frikativediskrimination festgestellt.

III - 4.4.1.2 Störgeräusch und Darbietung

In diesen Testversionen wurde das oben beschriebene digital erstellte Stimmengewirr als Störgeräusch eingesetzt. Die Signalrauschabstände wurden bei konstantem Wortpegel durch Variation des Störgeräuschpegels hergestellt

Die Sprachtests wurden in einem schall- und reflexionsgedämpften Kellerraum des Instituts durchgeführt. Zur Darbietung wurde ein Atari STE4-Computer mit angeschlossenem rechnergesteuertem AD/DA-Wandler verwendet. Als Schallwandler wurde ein offener Kopfhörer Jecklin Float Model two eingesetzt.

III - 4.4.2 Reliabilität

In der Tabelle 17 sind für alle Wortbedingungen die Retestreliabilitäten mit ihren Irrtumswahrscheinlichkeit angegeben. Die Ergebnisse sind getrennt nach Messungen ohne Hörgerät, Messungen mit Hörgerät und beide Messungen gemeinsam.

Tabelle 17. Retestreliabilitätskoeffizienten des Sprachtests getrennt für Messungen ohne Hörgerät, Messungen mit Hörgerät und alle Messungen (SRT1 = Verständlichkeitsschwelle in Test 1, SRT2 = Verständlichkeitsschwelle in Test 2, Max1/2 = Signalrauschabstand mit der höchsten Anzahl an Verwechslungen in Test 1/2, V%1/2 = relative Häufigkeit der Verwechslungen bezogen auf alle Items der Gruppe).

Wortgruppe	Parameter	ohne Hörgerät	mit Hörgerät	alle Messungen
S-natürlich	SRT1 / SRT2	.8538 (33) P= .000	.7486 (22) P= .000	.8224 (55) P= .000
		.8448 (15) P= .000	.8713 (16) P= .000	.8553 (31) P= .000
Vokal	SRT1 / SRT2	.7495 (38) P= .000	.2224 (24) P= .296	.5827 (62) P= .000
		.6115 (38) P= .000	.7794 (25) P= .000	.7048 (63) P= .000
S-Transient-Vexier	Max1 / Max2	.4257 (34) P= .012	.0669 (15) P= .813	.3608 (49) P= .011
	V%1 / V%1	.4964 (34) P= .003	.5449 (15) P= .036	.4990 (49) P= .000

Die Anzahl der verwendeten Messungen je Wortbedingung unterscheiden sich teilweise erheblich. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, daß in einigen Fällen die Versuchsleiter eine ungünstige Justierung der Signalrauschabstandsbereiche vorgenommen haben, und nur Meßpaare berücksichtigt wurden, bei denen beide Ergebnisse innerhalb des Meßbereiches liegen.

Die berechneten Koeffizienten liegen in der erwarteten Höhe, wobei die Hörgerätemessungen in der Regel etwas niedrigere Korrelationen aufweisen als die Messungen ohne Hörgerät. Dies liegt (wie oben schon diskutiert) u.a. daran, daß einige der Pbn nicht davon abzubringen waren, während der Messung Veränderungen an der vorher justierten Einstellung des Hörgeräts vorzunehmen, oder der Sitz des Ohrpaßstückes nicht immer exakt gleich ist. Zusätzlich ergibt sich Varianz aus dem unterschiedlichen Sitz des Kopfhörers bei mehrfachem Aufsetzen (vgl. die Darstellung der Kopfhörerkalibrierung im Teil I - Hörfeldaudiometrie), was insbesondere für die Mikrofonposition bei HdO-Hörgeräten äußerst problematisch sein kann. Abbildung 40 zeigt die gemeinsame Verteilung der Meßwerte (SRT bzw. relative Häufigkeit der Verwechslungen bei der Bedingung S-Transient-Vexier) als Scatterplot mit jeweils eingezeichneter Regressionsgerade. Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten sind Tabelle 17 zu entnehmen.

Die höchste Reliabilität weist die Wortgruppe S-natürlich mit .86 für die Messungen ohne Hörgerät auf. Mit Hörgerät liegt die Korrelation mit .75 etwas niedriger, für die gemeinsame Auswertung beider Messungen beträgt die Korrelation zwischen erster und zweiter Messung .82. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Varianzquellen Kopfhörersitz, Verstellen der Grundlautstärke der Geräte und der Palzierung der Sprachtestmessungen am jeweiligen Ende der 2-3 stündigen Sitzungen und der damit verbundenen Konzentrationseinbuße und Ermüdung, sind die Reliabilitäten als ausgezeichnet zu betrachten. Alle Korrelationskoeffizienten sind höchst signifikant.

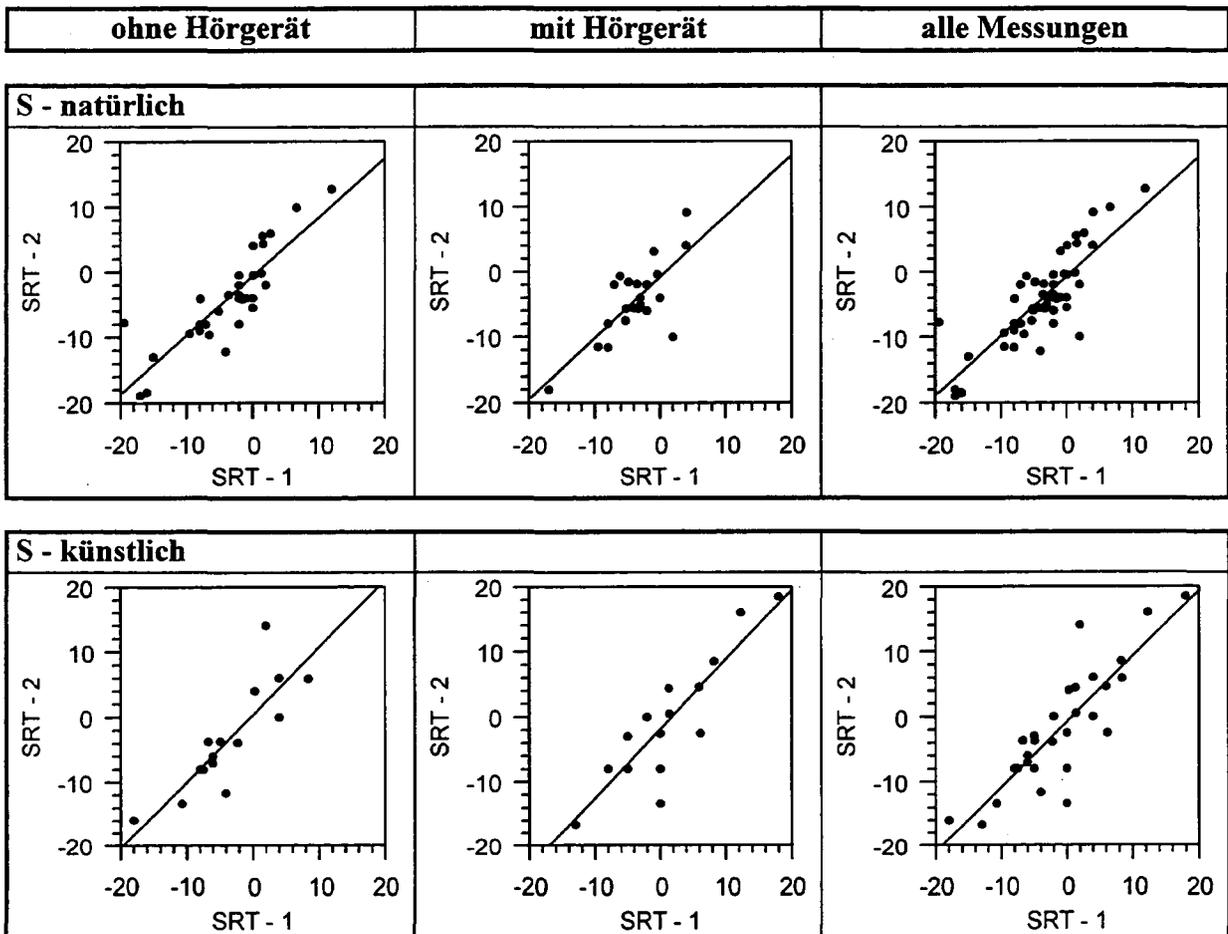
Für die Wortgruppe S-künstlich liegen die Korrelationskoeffizienten mit .85 (ohne Hörgerät), .87 (mit Hörgerät) und .86 (mit und ohne Hörgerät) ebenfalls sehr hoch. Die Anzahl verwertbarer Meßpaare ist allerdings geringer als bei den anderen Wortgruppen. Hier zeigt sich die oben schon ausführlich angesprochene Problematik, daß bis zu 35% der Pbn - weitgehend unabhängig vom Hörverlust - die Wörter dieser Gruppe nie oder nur selten als S-Wörter hören. Für diejenigen Pbn, die das vor das Wort gesetzte /s/ in dieses integrieren, ist eine hohe Reliabilität gegeben. Alle Korrelationskoeffizienten sind höchst signifikant.

Für die Vokale ergibt sich mit .75 (ohne Hörgerät) eine nicht so hohe Korrelation zwischen den Messungen wie bei der S-Diskrimination, sie ist aber ebenfalls höchst signifikant. Der (nicht signifikante) Korrelationskoeffizient von .22 für die Messungen mit Hörgerät liegt dagegen erstaunlich schlecht. Der Scatterplot zeigt, daß ein Teil der Messungen des zweiten Termins deutlich besser ausgefallen ist als beim ersten Mal und hierdurch die Korrelation drastisch zurückgeht. Nachdem die Korrelationen mit Hörgerät für die Wortgruppen S-natürlich und S-künstlich aber sehr hoch ausgefallen sind, kann hierfür eine Verstellung des Gerätes

zwischen den Messungen nicht in Frage kommen, da alle Wortgruppen im Test bunt gemischt sind.

Auch die Wortgruppe S-Vexier, mit der das generelle Antwortverhalten der Pbn geprüft wird, ist mit Retestkorrelationen von .61, .78 und .71 als reliabel anzusehen.

Für die Wortgruppe S-Transient-Vexier zeigen die Scatterplots hohe Abweichungen zwischen der ersten und der zweiten Messung. Sowohl für die Auswertung der Signalrauschabstände mit dem Maximum der Verwechslungen als auch für den Prozentsatz an Verwechslungen an den dargebotenen Items läßt sich nur ein leichter Trend zur Übereinstimmung feststellen. Im Durchschnitt lassen sich nur 25% der Varianz aus der zweiten Messung mit der Varianz aus der ersten Messung erklären. Wie bei der Diskussion der Frequenzspezifität und bei der Klärung des Beitrags der Frikativ-Vokaltransienten zur Frikativdiskrimination schon angesprochen, handelt es sich hier um Reize, die sehr schwer einzuordnen sind. Die Frikativ-Vokaltransitionen sind mehr oder weniger deutlich zu hören, aber der Frikativ ist nicht mit der Stärke zu hören, die er eigentlich haben müßte, da er aus dem Wort entfernt wurde. Die Wörter der Wortgruppe S-natürlich bieten eine Möglichkeit, diese Diskrepanz zu hören. Es ist demnach eigentlich zu erwarten, daß sich die Versuchshaltung der Pbn zu diesen Reizen sowohl innerhalb eines Tests als auch zwischen verschiedenen Testungen verändern kann. Aus diesem Grund wurde in späteren Testversionen auf diese Reize verzichtet.



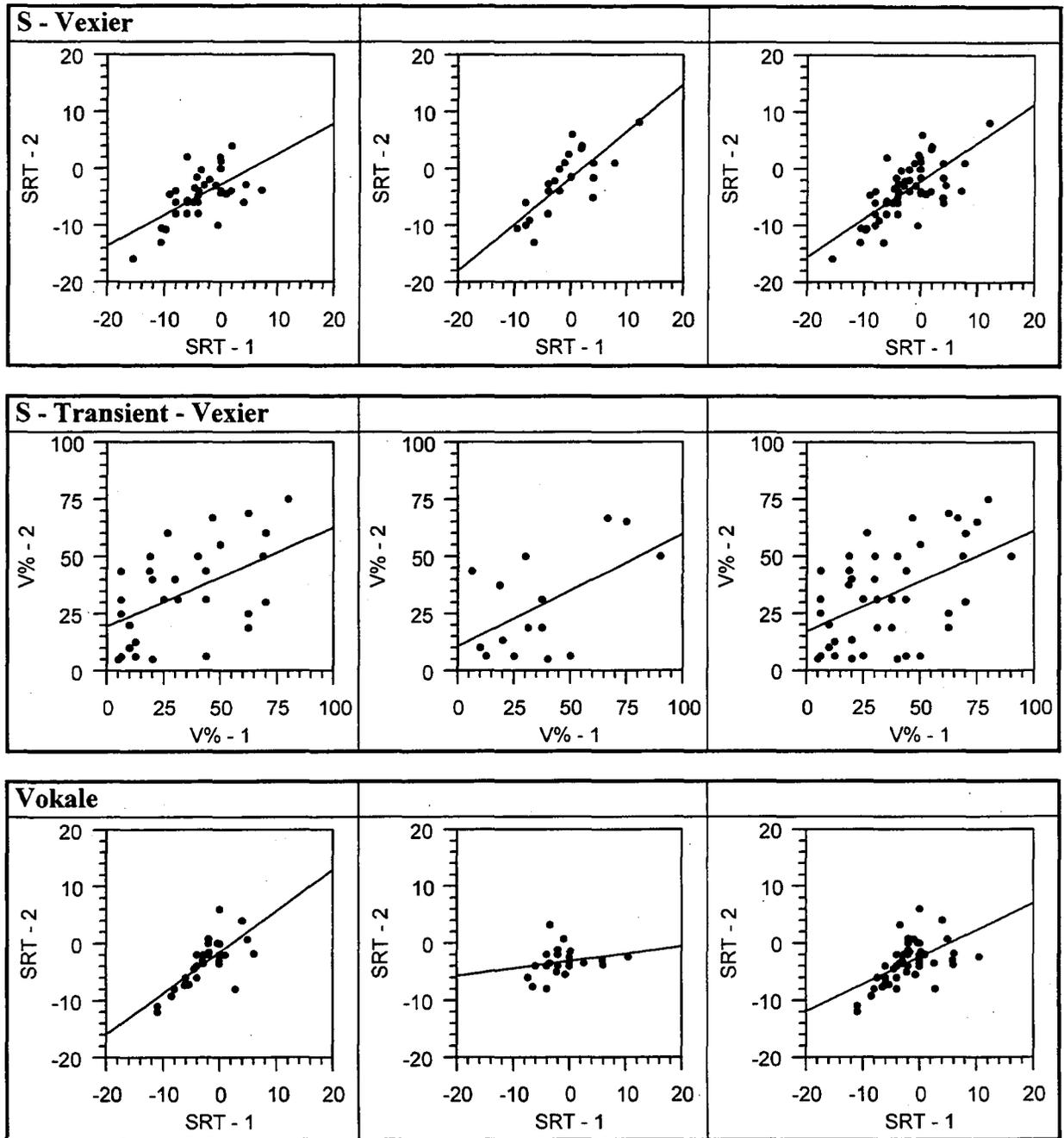


Abbildung 40. Gemeinsame Verteilung der Individualdaten des Sprachtests für die Messungen ohne Hörgerät, mit Hörgerät und für alle Messungen. SRT: speech reception threshold, V%: relative Häufigkeit der Verwechslungen.

III - 5 Literaturverzeichnis

- BELL, TH.S., DIRKS, D.D. & CARTERETTE, E.C. (1989). Interactive factors in consonant confusion patterns. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85 (1), 339-346.
- BLUMSTEIN, S.E. & STEVENS, K.N.: Acoustic invariance in speech production: Evidence from measurements of the spectral characteristics of stop consonants. *Journal of the Acoustical Society of America* 66, 1979, S. 1001-1017.
- BLUMSTEIN, S.E. UND STEVENS, K.N.: Perceptual invariances and onset spectra for stop consonants in different vowel environments. *Journal of the Acoustical Society of America* 67, 1980, 648-662.
- BORETZKI, M., HELLER, O., KNOBLACH, W., FICHTL, E., STOCK, A. & OPITZ, M.: Untersuchungen zur Reliabilität und Sensitivität der Hörfeldaudiometrie. In: *Fortschritte der Akustik. Plenarvorträge und Fachbeiträge der 20. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik*. DAGA 1994, Dresden.
- BORTZ, J., LIENERT, G.A & BOEHNKE, K.: *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. Springer, Berlin 1990.
- BOSMAN, A.: Review of Speech Audiometric Tests. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 11-34.
- BRINKMANN, K.: The German Path to Standardization in Speech Audiometry. In: M. MARTIN (Ed.), *Practical Aspects of Audiology - Speech Audiometry*. Whurr Publishers Ltd., London 1987, 89-107.
- BRONKHORST, A.W. & PLOMP, R. (1992). Effect of multiple speechlike maskers on binaural speech recognition in normal and impaired hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 92 (6), 3132-3139.
- BRONKHORST, A.W., BOSMAN, A.J. & SMOORENBURG, G.F. (1993). A model for context effects in speech recognition. *Journal of the Acoustical Society of America*, 93 (1), 499-509.
- DILLIER, N. & SPILLMANN, T.: Deutsche Version der Minimal Auditory Capability (MAC)-Test Batterie: Anwendungen bei Hörgeräte- und CI-Trägern mit und ohne Störlärm. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 238-263.
- DÖLP, U.: Entwicklung eines offenen Logatomtest zur Analyse des Sprachhörverlusts - erste Ergebnisse einer exemplarischen Untersuchung. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 169-195.

DÖRING, W.H. & HAMACHER, V.: Neue Sprachverständlichkeitstests in der Klinik: Aachener Logatomtest und "Dreinsilbertest" mit Störschall. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 137-167.

DRESCHLER, W.A.: Impaired frequency/time resolution and its effect on speech intelligibility. In: R. KLINKE & R. HARTMANN (Hrsg.), *Hearing-physiological Basis of Psychophysics - Proc. of the 6th Internat. Symposium on Hearing* (364-371). Springer Verlag, Bad Nauheim 1983.

DUBNO, J.R., DIRKS, D.D. & ELLISON, D.E.: Stop-consonant recognition for normal-hearing listeners and listeners with high-frequency hearing loss. I: The contribution of selected frequency regions. *Journal of the Acoustical Society of America* 85(1), 1989, S. 347-364.

DUBNO, J.R., DIRKS, D.D. & SCHAEFER, A.B. (1989). Stop-consonant recognition for normal-hearing listeners and listeners with high-frequency hearing loss. II: Articulation index predictions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85 (1), 355-364.

DUNN, H.K. & WHITE, S.D. (1940). Statistical measurements on conversational speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 11, 278-288.

ENGELKAMP, J. & PECHMANN, T. (Hrsg.): *Mentale Repräsentation*. Hans Huber, Bern 1993.

FECHNER, G.TH.: *Elemente der Psychophysik*. Leipzig 1860.

FLETCHER, H. (1940). Auditory Patterns. *Review of Modern Physics*, 12, 47-65.

FLORENTINE, M., BUUS, S., SCHARF, B. & ZWICKER, E. (1980). Frequency selectivity in normally hearing and hearing-impaired observers. *Journal of Speech and Hearing Research*, 23, 646-669.

FLORENTINE, M., FASTL, H. & BUUS, S. (1988). Temporal integration in normal hearing, cochlear impairment, and impairment simulated by masking. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84 (1), 195-203.

FOWLER, E.P. (1937). Measuring the sensation of loudness. *Archives of Otolaryngology*, 26, 514-521.

FRENCH, N.R. & STEINBERG, J.C. (1947). Factors governing the intelligibility of speech sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 19, 90-119.

FURUI, S. & SONDHJI, M.M.: *Advances in Speech Signal Processing*. Marcel Decker Inc., New York, 1991.

FURUI, S.: *Digital Speech Processing, Synthesis, and Recognition*. Marcel Decker Inc., New York, 1989.

GELLER, D. & MARGOLIS, R.H. (1984). Magnitude estimation of loudness I: Application to hearing aid selection. *Journal of Speech and Hearing Research*, 27, 20-27.

GHITZA, O. (1993). Adequacy of auditory models to predict human internal representation of speech sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 93 (4), 2160-2171.

GIERUT, J.A. & PISONI, D.B.: Speech Perception. In: N.J. LASS, L.V. MCREYNOLDS, J.L. NORTHERN & D.E. YODER (Eds.), *Handbook of Speech-Language Pathology and Audiology*. B.C. Decker Inc., Toronto 1988, 253-276.

GREEN, D.M.: *Profile Analysis*. Oxford University Press, New York 1988.

GREEN, R.: The Uses and Misuses of Speech Audiometry in Rehabilitation. In: M. MARTIN (Ed.), *Practical Aspects of Audiology - Speech Audiometry*. Whurr Publishers Ltd., London 1987, 129-153.

HAHLBROCK, K.-H.: *Sprachaudiometrie*. Thieme, Stuttgart 1970.

HALLE, M., HUGHES, G.W. UND RADLEY, J.-P. A.: Acoustic Properties of Stop Consonants. *Journal of the Acoustical Society of America* 29, 1957, 107-116.

HELLBRÜCK, J. & HELLER, O.: Wie zuverlässig und valide ist die Lautheit? In: A. SCHICK (Hrsg.), *Akustik zwischen Physik und Psychologie. Ergebnisse des 2. Oldenburger Symposiums zur psychologischen Akustik*. Klett-Cotta, Stuttgart 1981, 141-148.

HELLBRÜCK, J., HELLER, O. & NOWAK, TH.: Wie genau kann die Lautheitsempfindung bestimmt werden? In: *Fortschritte der Akustik, DAGA'81*. VDE-Verlag, Berlin 1981.

HELLBRÜCK, J.: *Hören - Physiologie, Psychologie und Pathologie*. Hogrefe, Göttingen 1993.

HELLBRÜCK, J.: Loudness scaling: ratio scales, rating scales, intersubject variability and some other problems. In: A. SCHICK, J. HELLBRÜCK UND R. WEBER (Eds.): *Contributions to Psychological Acoustics V - Results of the Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. Bibliotheks- und Informationssystem Universität Oldenburg, Oldenburg 1991, 135-160.

HELLER, O. & HELLBRÜCK, J.: Direkte Skalierung von Lautstärkedifferenzen. In: O. HELLER (Hrsg.), *Forschungsbericht 1979*. Psychologisches Institut, Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie, Würzburg 1979, 38-44.

HELLER, O. (1982). Theorie und Praxis des Verfahrens der Kategorienunterteilung (KU). In: O. HELLER (Hrsg.), *Forschungsbericht 1981*. Psychologisches Institut, Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie, Würzburg 1981, 1-15.

HELLER, O. (1985). Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienunterteilung (KU). *Psychologische Beiträge* 27, 478-493.

HELLER, O.: Scaling and Orientation. In: F. MÜLLER (Ed.), *Fechner Day 90. Proceedings of the Sixth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*. Würzburg, F.R.G. 1990, 52-57.

HELLER, O.: Oriented Category Scaling of Loudness and Speechaudiometric Validation. In: A. SCHICK, J. HELLBRÜCK UND R. WEBER (Eds.): *Contributions to Psychological Acoustics V - Results of the Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. Bibliotheks- und Informationssystem Universität Oldenburg, Oldenburg 1991, 135-160.

HELLER, O.: Frequenzspezifische Sprachaudiometrie. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 264-277.

HESELNANN, N.: *Digitale Signalverarbeitung*. Vogel-Buchverlag, Würzburg 1983.

HOHMANN, V.: *Dynamikkompensation für Hörgeräte - Psychoakustische Grundlagen und Algorithmen*. Fortschrittsbericht, VDI-Reihe 17, Nr. 93. VDI-Verlag, Düsseldorf 1993.

HOLUBE, I.: Experimente und Modellvorstellungen zur Psychoakustik und zum Sprachverstehen bei Normal- und Schwerhörigen. *Dissertation*. Göttingen 1993.

HUMES, L.E., DIRKS, D.D., BELL, TH.S., AHLSTROM, C. & KINCAID, G.E. (1986). Application of the articulation index and the speech transmission index to the recognition of speech by normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Journal of Speech and Hearing Research*, 29, 447-462.

HUMES, L.E., ESPINOZA-VARAS, B. & WATSON, C.S. (1988). Modeling sensorineural hearing loss. I. Model and retrospective evaluation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83 (1), 186-202.

IFEACHOR, E.C. & JERVIS, B.W.: *Digital Signal Processing - A Practical Approach*. Addison-Wesley, Wokingham 1993.

JEKOSCH, U.: Verfahren zur Bestimmung der Verständlichkeit akustisch realisierter Sprache. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 196-213.

KALIKOW, D.N., STEVENS, K.N. & ELLIOT, L.L. (1977). Development of a test of speech intelligibility in noise using sentences with controlled word predictability. *Journal of the Acoustical Society of America*, 77, 281-288.

KLIEM, K. & KOLLMEIER, B.: Ein Zweisilber-Reimtest in deutscher Sprache. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 287-310.

KNOBLACH, W.: Experimente auf dem Weg zu einem Würzburger Sprachtest. *Diplomarbeit*. Würzburg 1987.

KNOBLACH, W.: Methodischer Ansatz für einen hochfrequenzspezifischen Sprachtest. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 278-286.

KNOBLACH, W.: Speechaudiometric Validation of Loudness Scaling with Normal Hearing and Hard of Hearing Persons. In: A. SCHICK, J. HELLBRÜCK UND R. WEBER (Eds.): *Contributions to Psychological Acoustics V - Results of the Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. Bibliotheks- und Informationssystem Universität Oldenburg, Oldenburg 1991, 161-170.

KNOBLACH, W.: *Sprachwahrnehmung bei Innenohrschwerhörigkeit - Zur Psychophysik der Verständlichkeit*. Dissertation. Verlag Dr. Kovaš, Hamburg, 1996.

KOLLMEIER, B.: Meßmethodik, Modellierung und Verbesserung der Verständlichkeit von Sprache. *Habilitationsschrift*. Göttingen 1990.

KOLLMEIER, B., MÜLLER, C., WESSELKAMP, M. & KLIEM, K.: Weiterentwicklung des Reimtests nach Sotschek. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 216-237.

LAZARUS, H., LAZARUS-MAINKA, G. & SCHUBEIUS, M.: *Sprachliche Kommunikation unter Lärm*. Friedrich Kiehl Verlag, Ludwigshafen (Rhein) 1985.

LEHMACHER, W. & VAN EIMEREN, W. (1986). Zur statistischen Bewertung der Ergebnisse von Bioverfügbarkeitsstudien. *Therapiewoche* 36, Heft 5, Januar 1986, S. 413-420.

LEHNHARD, E.: *Praxis der Audiometrie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1987 (6).

LEMME, M.L. & HEDBERG, N.L.: Auditory Linguistic Processing. In: N.J. LASS, L.V. MCREYNOLDS, J.L. NORTHERN & D.E. YODER (Eds.), *Handbook of Speech-Language Pathology and Audiology*. B.C. Decker Inc., Toronto 1988, 277-308.

MOORE, B.C.J.: *An Introduction to the Psychology of Hearing*. Academic Press, London 1989 (3rd ed.).

MOSER, L.: Zur Konzeption eines rechnergesteuerten Audiometers. In: O. HELLER (Hrsg.), *Forschungsbericht 1981*. Psychologisches Institut, Lehrstuhl für allgemeine Psychologie, Würzburg 1982, 69-75.

MÜLLER, F.: Skalierung und Bezugssystem der Tonheit. *Dissertation*. Würzburg 1987.

NOWAK, TH.: Loudness scaling based on Fechners idea. In: F. MÜLLER (Ed.), *Fechner Day 90. Proceedings of the Sixth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*. Würzburg, F.R.G. 1990, 140-145.

OPPENHEIM, A.V. & SCHAFFER, R.W.: *Zeitdiskrete Signalverarbeitung*. R. Oldenbourg Verlag, München 1992.

- PATTERSON, R.D. & MOORE, B.C.J.: Auditory filters and excitation patterns as representations of frequency resolution. In: B.C.J. MOORE (ed.), *Frequency Selectivity in Hearing*. Academic Press, London 1986.
- PICKETT, J.M., REVOILE, S.G. & DANAHER, E.M.: Speech-Cue Measures of Impaired Hearing. In: J.V. TOBIAS & E.D. SCHUBERT (eds.), *Hearing Research and Theory, Volume 2*. Academic Press, New York 1983, 57-92.
- PRADHAN, P.L. & HOFMAN, P.J. (1963). Effect of spacing and range of stimuli on magnitude estimation. *Journal of Experimental Psychology*, 66, 533-541.
- PRESS, W.H., TEUKOLSKY, S.A., VETTERLING, W.T. & FLANNERY, B.P.: *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, 2nd ed., Cambridge 1992.
- PRINZ, W.: *Wahrnehmung und Tätigkeitssteuerung*. Springer-Verlag, Berlin 1983.
- RICKHEIT, G. STROHNER, H.: *Grundlagen der kognitiven Sprachverarbeitung*. UTB 1735, Francke, Tübingen 1993.
- ROBINSON, D.W. & DADSON, M.A. (1956). A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones. *British Journal of Applied Physics*, 7, 166-181.
- ROSEN, S. & FOURCIN, A.: Frequency selectivity and the perception of speech. In: B. MOORE (ed.): *Frequency selectivity and hearing*. Academic Press, New York 1986.
- SANDERS, J.W.: Diagnostic Audiology. In: N.J. LASS, L.V. MCREYNOLDS, J.L. NORTHERN & D.E. YODER (Eds.), *Handbook of Speech-Language Pathology and Audiology*. B.C. Decker Inc., Toronto 1988, 1123-1143.
- SARRIS, V. & MUSAHL, H.-P.: Zur Skalierung von 'Lautheit' - ein meßmethodischer und bezugssystemtheoretischer Beitrag. In A. SCHICK & K.P. WALCHER (Hrsg.), *Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls. Ergebnisse des 3. Oldenburger Symposiums zur psychologischen Akustik*. Peter Lang, Bern 1984, 99-114.
- SAWUSCH, J.R.: Peripheral and central processes in selective adaptation of place of articulation in stop consonants. *Journal of the Acoustical Society of America* 62, 1977, 738-750.
- SCHARF, B. & HOUTSMA, A.J.M.: Audition II: Loudness, Pitch, Localization, Aural Distortion, Pathology. In: K.R. BOFF, L. KAUFMAN & J.P. THOMAS (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance*. John Wiley and Sons, New York 1986 (3. Ed.), 15-1 bis 15-60.
- SCHICK, A. & ZDOBYCH, A.: Absolute Urteile bei der Lautheitsbeurteilung. In: A. SCHICK (Hrsg.), *Akustik zwischen Physik und Psychologie*. Klett-Cotta Verlag, Stuttgart 1981, 133-136.

SCHICK, A.: Veränderung und Bedeutung von Absoluturteilen über die Lautheit des Schalls bei Lärrmschwerhörigen. In: A. THOMAS & R. BRACKHANE (Hrsg.), *Wahrnehmen, Urteilen, Handeln*. Huber Verlag, Bern 1980, 211-221.

SCHORN, K. & ZWICKER, E. (1990). Frequency selectivity and temporal resolution in patients with various inner ear disorders. *Audiology*, 29 (8), 8-20.

SCHULTZ-COULON, (1973). Über die Bedeutung des Umweltgeräusches für den Hochtonschwerhörigen. *HNO*, 21, 26-32.

SELZ, O. (1941). Die Aufbauprinzipien der Phaenomenalen Welt. *Acta Psychologica*, 5, 7-35.

SENDLMEIER, W.F. (1990). Modification of strategies in feature extraction. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 4, 239-245.

SENDLMEIER, W.F.: *Sprachverarbeitung bei pathologischem Gehör*. Thieme, Stuttgart 1992.

SENDLMEIER, W.F.: Tests zur Optimierung der Sprachverständlichkeit - phonetische Feinstrukturanalysen des Artikulationsortes bei Plosiven. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 51-69.

SICKERT, K.: *Automatische Spracheingabe und Sprachausgabe*. Markt & Technik, Haar bei München 1983.

SKINNER, M. W.: *Hearing Aid Evaluation*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1988.

SMOORENBURG, G.F. & BOSMAN, A.: Choosing Speech Materials to Assess Hearing Impairment. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 86-105.

STEARNS, S.D.: *Digitale Verarbeitung analoger Signale*. R. Oldenbourg Verlag, München 1991.

STEVENS, K.N. UND BLUMSTEIN, S.E.: Invariant cues for place of articulation in stop consonants. *Journal of the Acoustical Society of America* 64, 1978, 1358-1368.

STEVENS, S.S. (1957). On the psychophysical law. *Psychological Review*, 64, 153-181.

STOCK, A., KNOBLACH, W. & HELLER, O. (1993). Die Bedeutung von Frikativ- Vokal-Formantrantitionen für die Verständlichkeit von Zweisilbern mit /s/- Anlaut (Teil 1). *Audio-logische Akustik*, median-verlag, Heidelberg, 190-194.

STOCK, A., KNOBLACH, W. & HELLER, O. (1994). Die Bedeutung von Frikativ- Vokal-Formantrantitionen für die Verständlichkeit von Zweisilbern mit /s/- Anlaut (Teil 2). *Audio-logische Akustik*, median-verlag, Heidelberg, 21-24.

SUZUKI, Y. & SONE, T.: Frequency characteristics of loudness perception. Principles and applications. In: A. SCHICK (Ed.): *Contributions to Psychological Acoustics - Results of the Sixth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. Bibliotheks- und Informationssystem Universität Oldenburg, Oldenburg 1993, 193-221.

TOWNSEND, TH.H.: Acoustics and perception of speech. In: DAN F. KONKLE & WILLIAM F. RINTELMANN, "*Principles of speech audiometry*". University Park Press, Baltimore, 1983.

TSCHOPP, K. & INGOLD, L.: Die Entwicklung einer deutschen Version des SPIN- Tests (Speech Perception in Noise). In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 311-329.

WALDEN, B.E., MONTGOMERY, A.A., PROSEK, R.A. & SCHWARTZ, D.M. (1981). Consonant similarity judgements by normal and hearing-impaired listeners. *Journal of Speech and Hearing Research*, 46, 32-43.

WALDEN, B.E., SCHWARTZ, D.M., MONTGOMERY, A.A. & PROSEK, R.A. (1980). A comparison of the effects of hearing impairment and acoustic filtering on consonant recognition. *Journal of Speech and Hearing Research*, 23, 162-184.

WANG, M.D. (1978). A comparison of the effects of filtering and sensorineural hearing loss on patterns of consonant confusion. *Journal of Speech and Hearing Research*, 21, 5-36.

WESSELKAMP, M. & KOLLMEIER, B.: Analyse von Phonemverwechslungen. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 70-85.

WESSELKAMP, M., KLIEM, K. & KOLLMEIER, B.: Erstellung eines optimierten Satztests in deutscher Sprache. In: B. KOLLMEIER (Hrsg.), *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. median-verlag, Heidelberg 1992, 330-343.

WITTE, W.: Einführung in die mathematische Behandlung psychologischer Probleme. In: F. DORSCH, *Psychologisches Wörterbuch*. Richard Meiner Hamburg & Hans Huber Bern 1963, 7. Aufl., 431-499.

ZWICKER, E. & SCHORN, K. (1977): Das Frequenzselektionsvermögen des funktionsgestörten Gehörs. *Zeitschrift für Hörgeräte-Akustik, Sonderheft*, 44-47.

ZWICKER, E. (1985). Das Zeitauflösungsvermögen des Gehörs - zweckmäßige Meßmethode und Bedeutung für die Sprachverständlichkeit. Vortrag 30. *Internationaler Hörgeräte-Akustiker-Kongreß 1985*, Berchtesgaden.

ZWISLOCKI, J.J. & GOODMAN, D.A. (1980). Absolute scaling of sensory magnitudes: a validation. *Perception & Psychophysics*, 28, 28-38.

ZWISLOCKI, J.J. (1983). Absolute and other scales: question of validity. *Perception & Psychophysics*, 33, 593-594.

III - 6 Anhang A - Apparatur

III - 6.1 AD/DA-Wandler und ATARI-Computer

Der 16-Bit-AD/DA-Wandler wurde optimal auf die Hardware der ATARI Computer abgestimmt. Der Datenaustausch erfolgt über ein 16-Bit-IO-Interface am ROM-Port der ATARI Computer. Der Aufbau des Interface ist in der Ausgabe März 1983 der Zeitschrift 'ct' beschrieben. Auf den ROM-Port hat der Prozessor direkten Zugriff und kann den Datenaustausch mit maximaler Geschwindigkeit selbst steuern. Der Wandler hat zwei Kanäle für Stereoaufnahmen, die um einen Takt gegeneinander versetzt arbeiten. Die Taktrate ist in Schritten von 0.5 ms von 0.5 ms bis 127.5 ms einstellbar. Um Schwankungen der Taktrate von vorneherein auszuschließen, wird der Takt nicht vom Computer geregelt, sondern von einer externen Clock im AD/DA-Wandler. Der gerade am Latch anliegende Kanal wird auf dem LSB (least significant bit) angezeigt, und der Computer liest mit maximaler Geschwindigkeit solange, bis der Kanalwechsel erfolgt und der Kanal anliegt, der gelesen bzw. ausgegeben werden soll. Auf diese Weise ist (abhängig von der Taktfrequenz des verwendeten Atari-Modells: 8 MHz bei ST, 16 MHz bei STE und 32 MHz bei TT) eine fehlerfreie Übertragung in Stereo zwischen 68 und 180 kHz möglich. Bei der Übernahme der Daten vom Port wird das Kanal-kennungsbit (Bit 0; LSB) ausmaskiert. Auf diese Weise geht zwar das unterste Bit der 16 Bit Auflösung verloren, was aber nicht besonders ins Gewicht fällt, da die verwendeten AD-Bausteine PCM 78 von Burr-Brown erst ab Bit 2 die Stabilität garantieren. Außerdem erfolgt die Abschwächung in der Regel nicht digital, sondern über einen analogen Abschwächer mit einem Bereich von 0 127 dB. Erst für Darbietungspegel, die nicht mehr mit dem analogen Abschwächer erreichbar sind, wird das Signal zusätzlich digital abgeschwächt. Der Vorteil der ATARI Computermodelle besteht in der leichten Programmierbarkeit der 68000 CPU sowohl in Assembler als auch in einem hochentwickelten BASIC-Dialekt, der strukturierte Programmierung (Prozeduren und Funktionen) und Zeiger unterstützt: OMIKRON-Basic. Außerdem werden Bibliotheken zur GEM-Programmierung (Programmoberfläche mit Maussteuerung, Menüs und Dialogen) zur Verfügung gestellt. Der gesamte standardmäßig zur Verfügung stehende Speicher (4 MB bei ST und STE, 8 MB bei TT) kann linear adressiert und alloziert werden.

AD/DA-Wandlerspezifikationen:

2 Kanäle; 2 AD-Wandler: Burr-Brown PCM 78, 2 DA-Wandler: Burr-Brown PCM 54; Analoges Dämpfer mit Weiche zur Kanalmischung: 111 dB in 1 dB- Stufen, 2 Dämpfungsstufen à 16 dB nach der Kanalmischung * Gesamtdämpfung: 127 dB; Taktrate in 0.5 ms-Schritten zwischen 0.5 ms und 127.5 ms wählbar (dies entspricht Abtastraten zwischen 200 kHz und 7.843 kHz); Antialiasingfilter: 10 kHz und 20 kHz.

III - 6.2 AKG K1000 und K1000-Amplifier

K1000: Elektrodynamischer Wandler mit VLD-Magnet; Nennimpedanz: 120 Ohm; Übertragungsbereich: 30 Hz - 25 kHz (in freiem Schallfeld); Kennschalldruckpegel: 74 dB/mW in freiem Schallfeld; Betriebsleistung: 100 mW für 1 Pa; Klirrfaktor: (400 mW =[^] 100 dB); $K_{\pm 0.5\%}$ (200 - 2.000 Hz) $K_{\pm 1\%}$ (100 - 200 Hz); Nennbelastbarkeit: 1000 mW (mit Testrauschen nach DIN 45582), entspricht ca. 104 dB.

K1000-Amplifier: max. Eingangsspegel 20.9 (LINE) bzw. 28.7 dB (AUX); max. Verstärkung: +10.5 dB (LINE) bzw. +15 dB (AUX); max. Ausgangsspannung: >12 V; Frequenzgang 0.4 dB: 20 Hz bis 40 kHz, bei 120 W und 10 V; THD bei 120 W und 10 kHz: <0.003% (1 V), <0.0022% (3 V), <0.0022% (6 V); Kanaltrennung (10 kHz): >72 dB; Gleichtaktunterdrückung: (10 kHz): >57 dB; S/N: 99 dBV (LINE) bzw. 100 dBV (AUX).

III - 6.3 Visaton Nahfeldmonitor NF400

Nennbelastbarkeit: 100 Watt; Musikbelastbarkeit: 150 Watt; Impedanz: 4 Ohm; Übertragungsbereich: 50 Hz - 30 kHz (8 dB); 65 Hz - 20 kHz (3dB); Trennfrequenz: 2000 Hz; Mittl. Kennschalldruck: 87 dB.

III - 7 Anhang B - Software

III - 7.1 Sample-Editor zur Aufnahme, Analyse und Bearbeitung von Geräuschen

Dieses Programm stellt den Kern der gesamten Hörfeld- und Sprachaudiometrie dar. Es würde für die Aufnahme bzw. Berechnung aller verwendeten Geräusche benötigt. Die Berechnung der Pegelspektrogramme erfolgte ebenfalls mit dieser Software. Das Programm ist menü- und dialoggesteuert. Die Programmierung der grafischen Oberfläche erfolgte in der Programmiersprache BASIC mit dem OMIKRON-Basic-Interpreter (4.0) und dem entsprechenden Compiler. Diese ermöglichen eine schnelle Programmentwicklung mit umfangreichen Strukturierungsmöglichkeiten (Prozeduren, Funktionen, Bibliotheken, Zeiger, etc.). Geschwindigkeitskritische Programmteile (wie AD/DA-Wandlung, Bildschirmanzeige, etc.) wurden in Assembler geschrieben und als Blöcke in den Programmcode integriert. Es folgt eine Auflistung aller Programmmerkmale:

Aufnahme und Wiedergabe

- 2 Kanäle, unabhängig auf Aufnahme oder Wiedergabe schaltbar (stereo in/ out, mono in/out, mono in und mono out gleichzeitig).
- Wiedergabe vorwärts und rückwärts; im Loop (mit oder ohne Pause).

- Aufnahme und Wiedergabe für den gesamten Kanal, ein Anzeigefenster oder einen Block.

Zeitliche Analyse und Bearbeitung

- Kopieren und Verschieben von Blöcken innerhalb und zwischen Kanälen.
- Mischen von Blöcken mit wählbarer Kanalgewichtung.
- Anzeige mit verschiedenen Zoomfaktoren.
- Cursorfunktion mit Angabe der Amplitude (bzw. der Minimal- und Maximalamplitude im Zoommodus) linear und in Aussteuerungs-dB und der absoluten zeitlichen Position innerhalb des Kanals.

Analyse und Bearbeitung der Amplitude

- Berechnung des RMS-Amplitudenverlaufs mit wählbarem Zeitfenster
- Berechnung einer Amplitudenstatistik mit wählbaren Zeitfenstern: Maximalamplitude, RMS-Amplitude, Überschreitung von zwei angebbaren Schwellen in Prozent der Werte. Übernahme der Berechnung in den Datei-Header als Maximalamplitude, RMS-Amplitude und als Kennamplitude (auf diese Werte greifen die einzelnen Darbietungsprogramme für die Kalibrierung der Wiedergabe zurück).
- Verstärkung und Dämpfung in 1/100-dB Stufen.
- Ein- und Ausblenden über variable Zeitabschnitte (in ms oder Anzahl von Werten [Genauigkeit nur von der Abtastrate abhängig]) mit einer linearen oder Gaußfunktion über die Amplitude.
- Hüllkurvenübertragung zwischen Blöcken mit wählbarem Zeitfenster.

Analyse und Bearbeitung des Spektrums

- Berechnung von FFT-Spektrum, Cepstrum, über Cepstrum geglättetes Spektrum und LPC (Routinen aus "Numerical Recipes", Press et al., 1992): N in 2er Potenzen bis 4096; Offset für sukzessive Analysen: beliebig; Fenstergewichtung: Rechteck, Hann, Hamming, Blackman; Mittelung: keine, PEAK, RMS; sukzessives Speichern für Spektrogramme. Anzeige: linear/dB; einkanalig, zweikanalig mit Differenzspektrum zwischen Kanälen.
- digitale Filterung: Hochpaß, Tiefpaß, Bandpaß, Allpaß, Bandsperre; Butterworth, Bessel, Tschebyscheff (0.5 dB - 3 dB Welligkeit); 2. bis 10. Ordnung.
- Faltung mit Impulsantwort beliebiger Länge.
- Fast-Faltung mit der Overlapp-Add-Methode (nach der Beschreibung in "Numerical Recipes", Press et al., 1992).
- Impulsantwortdesign für beliebige Filterkonfigurationen für Fast-Faltung und Faltung.

Signalgenerator

Block füllen (direkt oder addieren) mit:

- Sinus beliebiger Frequenz und Amplitude, weißes Rauschen mit wählbarer Amplitude (normalverteilt um Mittelwert, gleichverteilte Frequenz und Phase), spezielles Wobbelgeräusch: stochastisch in einem Frequenzband wählbarer relativer Breite frequenzmodulierte Sinustöne (lineare Frequenzüberblendung, wählbar: Umschaltrate, Anzahl stabiler Perioden, Anzahl Überblendperioden; Prozedur von M. Boretzki).

Informationen im Dateiheder

Beliebiger Text zur Beschreibung, Suchworte, Autor, Datum der Erstellung, Datum der letzten Änderung, Abtastrate, Art der Aufnahme (mono/stereo), Länge eines Kanals, RMS-Amplitude, Maximalamplitude, Kennamplitude.

III - 7.2 Programm zur Spektrogrammanzeige und Umrechnung der Pegel in Lautheit

Dieses Programm lädt Pegelspektrogrammdateien, die mit dem Sample-Editor erstellt wurden und stellt diese zweidimensional auf einem Farbmonitor dar. Schalldruckpegel bzw. Lautheiten werden durch Grauwerte oder Farben codiert. Für Grauwerte kann ein nicht linearer Graustufenverlauf variabel eingestellt werden (Umfang und Lage des mittleren dB-Bereichs kann frei gewählt und auf eine wählbare Anzahl von Graustufen [in Prozent] abgebildet werden. Ein Spektrogramm kann auf einen absoluten Darbietungspegel kalibriert werden (Kennamplitude aus Dateiheder bezogen auf die psychophysikalische Kopfhörerkalibrierung) und mit einem Lautheitsfunktionssatz eines Pbn in ein Lautheitsspektrogramm umgerechnet werden. Das errechnete Bild kann mit drei anderen Bildern im Wechsel verglichen werden. Die Anzeige kann beliebig gezoomt werden.

III - 7.3 Programm zur Darbietung der Sprachverständlichkeitstests

Für jede Version des Sprachverständlichkeitstests existiert eine Steuerdatei, die alle verwendeten Samples (Testwörter und Störgeräusche), ihre Zuordnung zu den verschiedenen Wortbedingungen, die Reihenfolge der Darbietungen mit den entsprechenden Signalrauschabständen, der jeweils richtigen Antwortspalte auf dem Antwortbogen, der zugehörigen Wortalternative, den absoluten Darbietungspegeln, etc. enthält. Mit Hilfe dieser Steuerdatei können Darbietung und Auswertung geregelt werden. Die Versuchsdurchführung kann vom Versuchsleiter jederzeit unterbrochen und wieder (bei beliebigen Items) aufgenommen werden. Über einen zusätzlichen Dialog kann jedes beliebige Wort (sofern es als Sample existiert) mit einem beliebigen Signalrauschabstand oder absoluten Darbietungspegel innerhalb der Wandlerdynamik dargeboten werden.

III - 7.4 Hörfeldaudiometrieprogramm

Für die Versuche von 1991 wurde ein einfaches Programm verwendet, mit einer fixen, auf Normalhörige abgestimmten Reihenfolge der Darbietungen. Ab 1992 wurde auf ein Programm ("AHA") von M. Boretzki zurückgegriffen, das eine flexible Erweiterung der Pegelstufen, Geräuschgruppen und anderer Darbietungsparameter auch während der Versuchsdurchführung erlaubt.

Teil IV: Epidemiologie

IV - 1	Problemaufriß und Methodik	3
IV - 1.1	Aufgabenstellung	3
IV - 1.2	Neuere Entwicklungen	4
IV - 1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	6
IV - 1.3.1	Voruntersuchung 1	6
IV - 1.3.2	Voruntersuchung 2	8
IV - 1.3.3	Voruntersuchung 3: Befragung von Hörgeräte-Akustikern	10
IV - 1.4	Planung und Durchführung der Untersuchung in der 3. Projektphase	11
IV - 1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	13
IV - 2	Erzielte Ergebnisse	14
IV - 2.1	Nonauditive Daten	14
IV - 2.2	Auditive Daten	18
IV - 2.3	Voraussichtlicher Nutzen	20
IV - 2.4	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	20
IV - 3	Anhang	21
Anhang 1:	Interviewleitfaden für Kurzfragebogen (Voruntersuchung 1)	21
Anhang 2:	Interviewleitfaden für Voruntersuchung 2	22
Anhang 3:	Akustikerbefragung	23
Anhang 4:	Fragebogen der Epidemiologischen Studie in Projektphase 3	24
Anhang 5:	Non-Responderbefragung	26
Anhang 6:	Verwendete Literatur	27
IV - 4	Positive und negative Aspekte des Hörgerätetragens - eine epidemiologische Studie	30
IV - 4.1	Einleitung	30
IV - 4.2	Methode	30
IV - 4.3	Ergebnisse	31
IV - 4.4	Fazit	34
IV - 4.5	Literatur	34
IV - 5	Über das Tragen von Hörhilfen	35
IV - 5.1	Zusammenfassung	35
IV - 5.2	Abstract	35
IV - 5.3	Einleitung	36
IV - 5.4	Konzeption des Fragebogens	37
IV - 5.5	Population und Stichprobenumfang	40
IV - 5.6	Ergebnisse Teil I - Deskriptive Auswertung der Daten	41
IV - 5.6.1	Vergleich von Respondern und Nonrespondern	41
IV - 5.6.2	Ergebnisse zu Bereich A des Fragebogens: Fragen zur Person	43
IV - 5.6.3	Ergebnisse zu den Bereichen B und D: Verbesserung des Hörens in verschiedenen Situationen durch das Hörgerät	46
IV - 5.6.4	Ergebnisse zu dem Bereich C: Art der Hörgeräteversorgung	47
IV - 5.6.5	Handhabung, Rückkopplungspfeifen, Batteriewechselintervall und Tragedauer der Geräte	47
IV - 5.6.6	Hörgerätetragen in der Öffentlichkeit	49

IV - 5.6.7	Ergebnisse zu dem Bereich E: Verbesserungswünsche von Seiten der Höreräteträger	49
IV - 5.6.8	Zuzahlungen für Hörgeräte durch die Schwerhörigen.....	50
IV - 5.6.9	Vergleich der Hörgerätearten	51
IV - 5.6.10	Vergleich von monauraler und binauraler Versorgung.....	51
IV - 5.7	Ergebnisse Teil II - Hierarchische Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA).....	53
IV - 5.8	Ergebnisse Teil III- Multiple logistische Regression	55
IV - 5.9	Diskussion	56
IV - 5.10	Literaturverzeichnis	57
IV - 6	PRACTICAL BENEFIT OF HEARING AIDS	59
IV - 6.1	Literature review	59
IV - 6.2	Epidemiological study	61
IV - 6.2.1	Population and sample size.....	61
IV - 6.2.2	Descriptive statistics.....	62
IV - 6.2.3	Modelling the influence of the four indices on satisfaction with the hearing aid	64
IV - 6.3	Comparison between objective test results and perceived hearing handicap.....	65
IV - 6.4	Discussion	67
IV - 6.5	References	68
IV - 7	Determinants of hearing aid satisfaction	69
IV - 7.1	Introduction.....	69
IV - 7.2	The concept of the questionnaire	70
IV - 7.3	Population and sample size.....	74
IV - 7.4	Descriptive Evaluation Part I	74
IV - 7.4.1	Results for Section A of the questionnaire: Personal Questions.....	75
IV - 7.4.2	Results for sections B and D: Improvement in hearing in various situations as a result of the hearing aid	79
IV - 7.4.3	Results for section C: Type of hearing aids.....	80
IV - 7.4.4	Results for section E: Suggestions for hearing aid manufacturers.....	82
IV - 7.5	Results Part II - Hierarchical Configuration Frequency Analysis (CFA)	84
IV - 7.6	Results Part III - Multiple Logistic Regression.....	86
IV - 7.7	Implications.....	87
IV - 7.8	Literature	88
IV - 7.9	Literature used for the construction of the questionnaire in alphabetical order.....	88

IV - 1 Problemaufriß und Methodik

IV - 1.1 Aufgabenstellung

Bei der Gestaltung der Mensch-Technik-Schnittstelle: Schwerhöriger - Hörgerät wird der Optimierung der auditiven Seite größtes Gewicht beigemessen. Die Verbesserung des Diagnoseinventars und die Entwicklung immer leistungsfähigerer Hörgeräte haben zurecht einen zentralen Stellenwert.

Weniger Beachtung erfährt dagegen auf der nonauditiven Seite die Evaluation des Nutzens eines Hörgerätes für den Schwerhörigen (OJA & SCHOW, 1984).

Zur Klärung der Frage nach dem derzeitigen Stand und der Qualität der Hörgeräteversorgung ist es jedoch nötig, beide Seiten zu untersuchen.

Es interessiert dabei, ob die gerätespezifischen Leistungen und Trageeigenschaften den Bedürfnissen der Schwerhörigen gerecht werden oder ob und in welchen Bereichen ein Verbesserungsbedarf gegeben ist.

Das hierbei anzusetzende Kriterium sollte eine größtmögliche Zufriedenheit des Schwerhörigen mit seiner Hörhilfe sein. Sie sollte einerseits zu einem möglichst vollständigen Ausgleich des Hörverlusts führen, andererseits aber auch leicht zu bedienen und angenehm zu tragen sein.

Eine Reihe von Untersuchungen befassen sich mit der Erhebung nonauditiver Leistungsmerkmale, so zum Beispiel die Studie von KAPTEYN (1977), die den Einfluß psychosozialer Faktoren auf die Zufriedenheit mit dem Hörgerät beschreibt, die Erhebung von BERGER et al. (1982), die unter anderem Auskunft gibt über Art und Häufigkeit des Auftretens von Situationen, die von Hörgeräteträgern als problematisch empfunden werden, die Befragung von BROOKS (1985) nach Bedingungen, die zu Unzufriedenheit und seltener Benutzung des Hörgeräts führen, die Untersuchung von CHUNG und STEPHENS (1986), die die Faktoren beschreibt, welche einen Einfluß auf die Nutzung einer binauralen Hörgeräteversorgung haben und schließlich die für den amerikanischen Hörgerätemarkt äußerst umfangreichen Marktforschungsstudien von KOCHKIN (1991, 1992, 1993).

Diese hauptsächlich in den USA durchgeführten Untersuchungen sind jedoch nur eingeschränkt übertragbar.

So unterscheiden sich die Anteile der Hörgerätearten, die in Preis und auch in der Verstärkungsleistung nicht generell vergleichbar sind; in Deutschland waren 1991 etwa 70% der Hörgeräte HdO-Geräte (SCHMITT, DREESSEN, 1992, S. 14), in den USA dagegen nur 15% (Daten einer Untersuchung aus den Jahren 1993 und 1994; KOCHKIN, 1995).

Außerdem unterscheidet sich die Betreuung der Schwerhörigen während der Hörgeräteanpassung wegen unterschiedlicher Verkaufs- und Anpaßstrategien. In den USA werden nur etwa 30% der Hörgeräte von sogenannten „audiologists“ angepaßt; diese sind in etwa mit Hörgeräte-Akustikern bezüglich ihrer Ausbildung vergleichbar (SCHMITT, DREESSEN, 1992, S. 20), 60% der Hörgeräte werden über sogenannte „dispenser“ in Kleinbetrieben verkauft; ebenso ist auch der Bezug über Versandhandel möglich.

Die Zufriedenheit des Schwerhörigen mit seiner Hörhilfe ist außer durch den Höreindruck durch eine Vielzahl weiterer nonauditiver Leistungsmerkmale determiniert. Diese finden sich zum einen auf der Geräteseite (ergonomische und ästhetische Gestaltung, Tragecomfort), zum anderen auf der Seite des

Schwerhörigen (Schwierigkeiten in Alltagshörsituationen, Tragegewöhnung, Einstellung zu Hörverlust und Hörhilfe, geistige Leistungsfähigkeit, feinmotorisches Geschick, aber auch Art und Ausmaß der sozialen Interaktionen und Bedingungen der Lebensumwelt, etwa Familienstand oder allgemeiner Gesundheitszustand).

Nonauditive Leistungsmerkmale bzw. deren Einfluß auf die Zufriedenheit des Schwerhörigen mit seiner Hörhilfe werden bisher für die Anpassung einer Hörhilfe in der Regel nicht explizit herangezogen; HNO-Ärzte und Hörgeräte-Akustiker müssen sich hierbei auf ihre Erfahrung und ihr „Fingerspitzengefühl“ verlassen.

Neben der Erfassung der nonauditiven Leistungsmerkmale ist weiterhin der Zusammenhang von nonauditiven Leistungsmerkmalen und auditiven Maßen von Interesse. Dies ist wichtig, um klären zu können, ob eine Verbesserung der auditiven Seite bei der Hörgeräteanpassung zugleich auch zu größerer Zufriedenheit mit der Hörhilfe und zu größerem Nutzen für den Schwerhörigen führt.

In mehreren Untersuchungen (NOBLE & ATHERLEY, 1970; KAPTEYN, 1977; GERBER & FISHER, 1979; TANNAHILL, 1979; OJA & SCHOW, 1984; HOLUBE & KOLLMEIER, 1991, 1994) konnte gezeigt werden, daß zwischen auditiven Maßen und nonauditiven Maßen kein, bestenfalls nur ein geringer Zusammenhang besteht. Zu dem gleichen Ergebnis kommen in einer Literaturübersicht auch HUTTON und CANAHL (1985) und begründen dies damit, daß sich die Zufriedenheit eines Schwerhörigen mit seinem Hörgerät aus einer Vielzahl individuell unterschiedlich gewichteter Faktoren zusammensetzt, die mit audiometrischen Testverfahren nicht in ihrer Gesamtheit erfaßt werden können.

Daraus läßt sich ableiten, daß eine nach auditiven Kriterien optimierte Anpassung einer Hörhilfe demnach *nicht* grundsätzlich auch zu einem größeren Nutzen und einer größeren Zufriedenheit des Schwerhörigen mit seiner Hörhilfe führt.

Gerade nonauditive Leistungsmerkmale haben offensichtlich einen erheblichen Einfluß auf die erfolgreiche Benutzung einer Hörhilfe und deren Akzeptanz durch den Schwerhörigen.

Zu erfassen sind daher sowohl auditiv relevante Merkmale von Hörhilfen als auch die nonauditiven Leistungsmerkmale und das Ausmaß ihres Einflusses auf die Akzeptanz und Zufriedenheit des Schwerhörigen mit seiner Hörhilfe.

IV - 1.2 Neuere Entwicklungen

In jüngster Zeit wurden in den USA (KOCHKIN, 1991, 1992, 1993, 1995) und auch im deutschsprachigen Raum Untersuchungen durchgeführt, die sich mit dieser Thematik eingehender befassen (FLORIN, 1990; HOLUBE & KOLLMEIER, 1991, 1994; IFAV, 1994; KINKEL & HOLUBE, 1995).

In einer äußerst umfangreichen Untersuchungsreihe erhob KOCHKIN die Einstellung der Schwerhörigen zu ihrem Hörgerät und ihrer Schwerhörigkeit, den Einfluß der sozialen Umgebung, den Grad des Hörverlusts, demographische Angaben, sozioökonomischen Status und Lebensumstände.

FLORIN (1990) untersuchte die psychischen, sozialen und körperlichen Beeinträchtigungen durch eine Schwerhörigkeit.

HOLUBE und KOLLMEIER (1991, 1994) nahmen die häufig gefundene Diskrepanz zwischen audiologischen Meßdaten und der Selbsteinschätzung von Schwerhörigen bezüglich ihrer Hörfähigkeit mit Hörgerät zum Anlaß, diesen Zusammenhang zu untersuchen.

Bei den Untersuchungsteilnehmern wurden Tonschwellenaudiogramm, sowie binaurale Parameter bzw. Sprachverständlichkeitsschwellen in Ruhe und unter Störgeräusch bestimmt.

Die Selbsteinschätzung der Schwerhörigen wurde mit Hilfe eines Fragebogens erfaßt, der mit 21 Items die fünf Bereiche Verständlichkeit in Ruhe, Verständlichkeit unter Störgeräusch, Lokalisationsfähigkeit, Tinnitus und psychosoziale Hörbeeinträchtigung behandelte.

Sowohl für das Tonschwellenaudiogramm als auch für die Sprachverständlichkeitsmessung konnte ein Zusammenhang mit den Angaben der Schwerhörigen zum Verstehen in Ruhe festgestellt werden; nur ein geringer Zusammenhang ergab sich bei der Einschätzung des Verstehens unter Störgeräuschen. Ebenso ergibt sich ein nur geringer Zusammenhang zwischen audiologischen Meßdaten und der Einschätzung der psychosozialen Beeinträchtigung durch die Schwerhörigkeit.

Die Ergebnisse der Interviews mit Hörgeräteträgern durch das Institut für angewandte Verbraucherforschung e.V. (IFAV, 1994) ermöglichen unter anderem einen Vergleich der Zufriedenheit von Hörgeräteträgern mit Festbetrags- bzw. Zuzahlungsgeräten. Es zeigte sich bei Festbetragsgeräten eine höhere Zufriedenheit als bei Zuzahlungsgeräten bei subjektiv gleich beurteilter Schwere des Hörverlusts. Die Autoren ziehen daraus den Schluß, „...daß Festbetragsleistungen unter Qualitätsgesichtspunkten und unter dem Aspekt der Zufriedenheit der Versicherten mit teuren Versorgungsalternativen nicht nur durchaus konkurrieren können, sondern nach Einschätzung der betroffenen Hörgeschädigten sogar besser ihren Zweck erfüllen.“ (NEUMANN, 1994, S. 310-311).

Es ist jedoch kritisch anzumerken, daß eine audiologische Überprüfung des Hörverlustes nicht durchgeführt wurde. Die subjektive Beurteilung der Schwere des Hörverlusts durch den Schwerhörigen selbst ist kein verlässlicher Schätzer für Art und Ausmaß des Verlusts; so konnte bei unseren Untersuchungen kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung des Schwerhörigen und audiologischen Meßdaten gefunden werden. Es ist daher fraglich, ob beide Gruppen trotz gleicher subjektiver Beurteilung Hörverluste vergleichbarer Art und vergleichbaren Ausmaßes aufweisen.

Bei der Mehrzahl der Schwerhörigen liegen einfache Hörverluste vor, die mit Festbetragsgeräten zufriedenstellend ausgleichbar sind.

In der Regel besitzen Festbetragsgeräte nur einen Kanal, keine Begrenzungskompression, keine zusätzlichen Programme für unterschiedliche Situationen (Gespräch in Ruhe und unter Störlärm, Musik). Außerdem ist u.U. die Qualität sowohl der Bauteile als auch der Schaltungen, was sich in stärkerem Rauschen zeigen kann, nicht mit teureren Geräten vergleichbar.

Bei schwierig zu korrigierenden Verlusten reichen die Korrektur- und Einstellmöglichkeiten von Festbetragsgeräten oft nicht aus. Beispielsweise ist unterschiedliches Recruitment über die Frequenzbereiche hinweg mit einem Einkanal-Gerät ohne Begrenzungskompression kaum korrigierbar; bei starkem Recruitment ist generell eine mehrkanalige Versorgung vorzuziehen. Je stärker die Dynamik-Kompression, desto mehr ist der Schwerhörige auf Mehrprogrammgeräte angewiesen, um die Übertragungscharakteristik optimal an die unterschiedlichen akustischen Gegebenheiten verschiedener Hörsituationen anzupassen.

Auch bieten Zuzahlungsgeräte bei schnell fortschreitender Verschlechterung des Hörvermögens oftmals mehr Möglichkeiten als Festbetragsgeräte zur Anpassung an die veränderte Hörfähigkeit des Schwerhörigen.

Bei derartigen Hörverlusten ist es selbst mit den umfassenderen Korrekturmöglichkeiten eines Zuzahlungsgeräts schwierig, einen passablen Ausgleich des Hörverlusts zu erreichen. Es muß geprüft werden, ob sich dadurch die geringere Zufriedenheit dieser Gruppe der Hörgeräteträger erklären läßt.

Die mögliche Folgerung aus den Daten der Untersuchung, daß Festbetragsgeräte grundsätzlich vorzuziehen sind, da sie gleich gute Ergebnisse wie Zuzahlungsgeräte ermöglichen, erscheint daher problematisch. Ob ein Festbetragsgerät ausreichend ist oder an ein Zuzahlungsgerät gedacht werden sollte, kann nur im Individualfall unter Berücksichtigung des Hörverlusts, des Bedarfs des Schwerhörigen, aber auch der anfallenden Kosten geklärt werden.

KINKEL und HOLUBE (1995) verwendeten einen ähnlichen Fragebogen wie HOLUBE und KOLLMEIER (1991, 1994) zur Untersuchung der Bewertung von Hörgeräteversorgungen. Patienten, die eine Erstversorgung erhielten, sollten ihre Hörfähigkeit ohne Hörgerät und mit neuem Hörgerät bewerten, Patienten, die bereits früher ein Hörgerät getragen hatten, wurden gebeten, zusätzlich noch eine Bewertung ihres alten Hörgerätes abzugeben.

Es zeigte sich u.a. eine bessere Beurteilung neuer Hörgeräte; die Autoren führen dies auf die Qualität moderner Hörgeräte zurück.

Es fehlen allerdings audiologische Daten, die abschließend klären könnten, ob die neuen Hörgeräte tatsächlich aufgrund ihrer akustischen Leistungsfähigkeit oder aber aufgrund anderer nonauditiver Faktoren von den Hörgeräteträgern besser beurteilt werden. Allein die „Neuheit“ eines Gerätes könnte trotz vergleichbarer Hörgeräteleistung für den Schwerhörigen ein Grund für eine bessere Beurteilung sein.

Es sollte auch geprüft werden, ob die Bewertungen der neuen Hörgeräte bei den Erstversorgten mit den Bewertungen der Nachversorgten, die die Möglichkeit eines Vergleichs mit dem alten Gerät haben, übereinstimmen.

IV - 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

IV - 1.3.1 Voruntersuchung 1

In einer ersten Voruntersuchung erfolgte die Erfassung nonauditiver Merkmale zur Beschreibung der Bedingungen des Hörgerätetragens mithilfe eines Fragebogens, der als strukturiertes Interview durchgeführt wurde. Es bestand somit die Möglichkeit, bei Bedarf weitere Informationen von den Schwerhörigen zu erfragen.

Mit diesem Fragebogen (Anhang 1) wurden u.a. Daten zu Art, mögliche Ursache und Verlauf der Schwerhörigkeit, zu Hörgerätetyp und Versorgungsart, Mängeln des Hörgerätes, Handhabung, Tragedauer, Situationen, in denen das Gerät getragen bzw. nicht getragen wird, Bewertung der eigenen Hörfähigkeit ohne und mit Hörgerät in unterschiedlichen Situationen (in Ruhe, unter Störgeräusch, unter Hall, beim Fernsehen) und direkte Bewertung des Hörgerätes erhoben.

Befragt wurden hiermit bei zwei Reihenuntersuchungen, die in Zusammenarbeit mit der AOK Würzburg in deren Räumen durchgeführt werden konnten, im Zeitraum vom 25.11.1991 bis 6.12.1991 und 18.3.1992 bis 8.4.1992 insgesamt 348 Personen, davon 189 Hörgeräteträger.

Während der Main-Franken-Messe, einer Verkaufs- und Ausstellungsmesse für den Raum Unterfranken (25.9.1993-3.10.1993) und bei mehreren anschließenden Untersuchungsreihen im Stadtgebiet von Würzburg (im Zeitraum vom 27.10.1993-19.11.1993), bei der das dem Projekt zur

Verfügung stehende Audiomobil als Untersuchungsraum diente, konnten von uns über 500 Personen, davon 186 Höreräteträger, untersucht werden.

Bei den zusätzlich am Institut stattfindenden Untersuchungen während der gesamten Projektdauer konnten weitere 100 Höreräteträger befragt werden.

Die Auswertung der Fragebögen ergibt folgendes Bild:

37.8% der Befragten sind jünger als 60 Jahre, 36.3% zwischen 70 und 80 Jahren und 25.9% älter als 80 Jahre. 27.5% geben an, ihr Hörerät nicht jeden Tag zu tragen; an denjenigen Tagen an denen es von diesen Schwerhörigen getragen wird, beträgt die Tragedauer durchschnittlich weniger als 4 Stunden. Die mittlere Tragedauer derjenigen Schwerhörigen, die ihr Hörerät regelmäßig tragen, beträgt etwa 9 Stunden pro Tag.

Bei der Frage nach den Situationen, in denen das Hörerät getragen wird, wird genannt: bei der Arbeit, außer es handelt sich um einen lauten Arbeitsplatz, beim Fernsehen, in Vorträgen, im Theater oder in Gesellschaft.

Nicht getragen wird es zumeist zuhause, wenn der Höreräteträger alleine ist, auf der Straße wegen des Verkehrslärms, aber auch um Batterien zu sparen. Als weitere Gründe, es nicht zu tragen, werden Jucken bzw. Nässen des Ohres oder Pilzbefall im Ohr genannt.

Mit der Handhabung des Hörerätes kommen 95.8% zurecht; davon sehr gut 64.1%, gut 23.9% und befriedigend 7.8%. Das Wechseln der Batterien und das Auf- und Absetzen des Hörerätes bereiten im Allgemeinen kaum Schwierigkeiten (Tabelle 1). Geringfügig problematischer ist dagegen das Einstellen der Lautstärke, was insbesondere bei IdO-Geräten auf die geringe Größe der Lautstärkereger zurückzuführen ist; Abhilfe könnte hier oftmals durch die Verwendung einer Fernbedienung geschaffen werden.

Tabelle 1: Häufigkeit (%) der gewählten Kategorien für die Bedienung des Höreräts: Lautstärkeregerung, Batteriewechsel und Auf- und Absetzen.

	sehr gut	gut	es geht	schlecht	sehr schlecht
Lautstärkeregerung	64.7%	15.8%	7.2%	7.9%	4.3%
Batteriewechsel	73.6%	16.4%	5.0%	2.1%	2.9%
Auf- und Absetzen	70.4%	16.9%	7.7%	2.1%	2.8%

In ruhiger Umgebung hören ohne Hörerät nach ihren Angaben bereits 34.6% der Befragten gut bzw. sehr gut; mit Hörerät erhöht sich dieser Anteil auf 74.5%. Schlecht bzw. sehr schlecht hören ohne Hörerät 46.3% und mit Hörerät nur noch 10.9%. Eine Verbesserung durch das Hörerät erleben in dieser Situation 66.9%; 33.1% erleben keine Änderung durch das Hörerät, einige (5.1%) eine Verschlechterung ihrer Hörleistung (Tabelle 2).

Unter Störgeräusch sinkt der Anteil derjenigen, die ohne Hörerät gut hören auf 2.2%, in Räumen mit starkem Hall (z.B. in Kirchen) sind dies 2.5%; mit Hörerät hören unter Störgeräuschen 8% gut, bei Hall 16.5%. 88.9% geben an, ohne Hörerät in Störgeräusch-Situationen schlecht bzw. sehr schlecht zu hören (bei Hall: 92.5%), mit Hörerät beträgt der Anteil 85.4% (bei Hall: 51.4%). Eine Verbesserung erleben 25.2% der Befragten (Hall: 48.8%); 11.8% (Hall: 5.7%) erleben eine Verschlechterung mit dem Hörerät.

Tabelle 2: Häufigkeit (%) der gewählten Kategorien für die Fragen zu Situationen ohne und mit Hörgerät. „oHg“ = ohne Hörgerät; „mHg“ = mit Hörgerät.

		sehr gut	gut	es geht	schlecht	sehr schlecht
Verstehen in Ruhe	(oHg)	5.9%	28.7%	19.1%	16.2%	30.1%
Verstehen in Ruhe	(mHg)	29.2%	45.3%	14.6%	5.8%	5.1%
Verstehen unter Störlärm	(oHg)	-	2.2%	8.9%	16.3%	72.6%
Verstehen unter Störlärm	(mHg)	-	8.0%	6.6%	25.5%	59.9%
Verstehen bei Hall	(oHg)	-	2.5%	5.0%	23.1%	69.4%
Verstehen bei Hall	(mHg)	-	16.5%	22.0%	22.0%	39.4%

Die Befragten wurden am Ende des Interviews gebeten, die Zufriedenheit mit ihrem Hörgerät durch eine Note zwischen 1 (sehr gut) und 5 (sehr schlecht) zu beschreiben (Tabelle 3). Von 4.9% wird das Hörgerät mit der Note 1 bewertet, 29.6% vergeben die Note 2 und 33.8% die Note 3. 31.7% bewerten ihr Hörgerät zu etwa gleichen Teilen mit Note 4 bzw. 5.

Tabelle 3: Häufigkeit (%) der gewählten Note für das Hörgerät.

	1 sehr gut	2 gut	3 es geht	4 schlecht	5 sehr schlecht
Benotung des Hörgeräts	4.9%	29.6%	33.8%	16.9%	14.8%

Außerdem wurden sie gebeten, Gründe für die Benotung ihres Hörgerätes anzugeben.

Viele Schwerhörige geben vor allem eine Verbesserung beim Verstehen in ruhiger Umgebung an, vor allem für Schwerhörige mit starkem Hörverlust stellt das Hörgerät ein unverzichtbares Hilfsmittel zur Kommunikation dar.

Es werden jedoch auch eine Anzahl an Mängeln der Hörgeräte genannt.

An erster Stelle stehen zu laute Nebengeräusche und Rückkopplungspfeifen, aber auch schlechte Übertragungsqualität. Häufig genannt wird auch der hohe Batterieverbrauch von Hörgeräten und die Feuchtigkeitsempfindlichkeit der Geräte, die sich in der Korrosion von Batterien und Gerät äußert.

Beklagt werden außerdem Drücken des Ohrpaßstücks, Jucken, Nässen, allergische Reaktionen bzw. Pilzbefall des Ohres. Das Tragen von Hörgeräten wird oft als unangenehm und anstrengend beschrieben.

IV - 1.3.2 Voruntersuchung 2

Aus den in Voruntersuchung 1 gewonnenen Ergebnissen und Erfahrungen wurde eine ausführlichere Fragensammlung erstellt. Mit dieser sollten die aus den Gesprächen mit Schwerhörigen bisher gewonnenen Ergebnisse systematisch untersucht werden.

Für die Erfassung nonauditiver Merkmale zur Beschreibung der Bedingungen des Hörgerätragens wurden folgende Bereiche befragt (Anhang 2): Angaben zur Person, Schwerhörigkeit, allgemeiner Gesundheitszustand, Schwierigkeiten mit und ohne Hörgerät in unterschiedlichen Situationen, Gewöhnungsdauer, Einstellung zu Schwerhörigkeit und Hörgerät, Verbesserungswünsche, technische

Daten des Hörgerätes, Tragedauer, Handhabung, Lebenssituation, Veränderung der sozialen Interaktion durch Hörgeräte, Zufriedenheit mit dem Hörgerät.

Zum Einsatz kam die Fragensammlung ebenfalls in Form eines strukturierten Interviews. Insgesamt wurden damit 100 Schwerhörige mit unterschiedlichen Ausfällen befragt. Gut zwei Drittel der Interviews wurden bei den Patienten zu Hause durchgeführt, ein Drittel in den Räumen des Instituts.

11 der 100 der Befragten sind jünger als 60 Jahre, 43 zwischen 70 und 80 Jahren und 24 älter als 80 Jahre; 43 der Befragten sind Frauen.

41 geben an, selbst auf ihre Schwerhörigkeit aufmerksam geworden zu sein, 22 wurden von anderen aufmerksam gemacht und bei 27 entwickelte sich die Schwerhörigkeit aufgrund einer Erkrankung.

Durch ihre Schwerhörigkeit fühlen sich 76 der Befragten behindert und 14 leicht eingeschränkt; 10 fühlen sich durch ihre Schwerhörigkeit nicht behindert.

46 Schwerhörige sind monaural versorgt, 53 Schwerhörige haben binaurale Versorgung. IdO-Geräte werden von 17 Schwerhörigen getragen, HdO-Geräte von 82 und ein Schwerhöriger ist im Besitz eines Knochenleitungsgerätes.

Eine Gewöhnungsdauer von weniger als 3 Monaten wurde von 43 Personen angegeben; 37 der Hörgeräteträger gaben an, an einer Nachbetreuung teilgenommen zu haben.

3 Schwerhörige tragen ihr Hörgerät überhaupt nicht, 44 tragen es nur unregelmäßig und 63 Befragte geben an, ihr Hörgerät jeden Tag zu tragen; von diesen 63 tragen es 39 Personen länger als 8 Stunden am Tag.

Aus Tabelle 4 sind die Häufigkeiten in Prozent der abgegebenen Urteile der Hörgeräteträger bezüglich ihrer Hörfähigkeit in unterschiedlichen Situationen ohne und mit Hörgerät ersichtlich. Die stärkste Verbesserung erleben die Befragten beim Zweiergespräch in Ruhe, beim Fernsehen und Radiohören und beim Hören von Tür- oder Telefonklingel. Eine etwas geringere Verbesserung zeigt sich beim Gespräch mit mehreren Personen, beim Musikhören, in der Kirche und am Arbeitsplatz. Kaum eine Änderung durch das Hörgerät wird im Lokal, bei der Lokalisation von Geräuschen und beim Telefonieren bemerkt.

Tabelle 4: Häufigkeit (%) der gewählten Kategorien für die Fragen zu Situationen ohne und mit Hörgerät. „oHg“ = ohne Hörgerät; „mHg“ = mit Hörgerät

		sehr gut	gut	es geht	schlecht	sehr schlecht
im Zweiergespräch	oHg	5.0%	33.7%	32.5%	28.8%	25.0%
	mHg	24.7%	59.8%	13.4%	2.1%	-
im Gespräch mit mehreren	oHg	-	3.0%	13.0%	31.0%	53.0%
	mHg	1.0%	19.8%	36.5%	35.4%	7.3%
beim Musikhören	oHg	1.0%	28.2%	15.2%	19.2%	36.4%
	mHg	4.5%	48.9%	23.9%	18.2%	4.5%
beim Radiohören	oHg	1.0%	24.2%	15.2%	23.2%	36.4%
	mHg	9.3%	57.0%	20.9%	12.8%	-
beim Fernsehen	oHg	-	13.0%	12.0%	30.0%	45.0%
	mHg	8.6%	43.0%	29.0%	17.2%	2.2%
am Telefon	oHg	-	29.3%	19.2%	22.2%	29.3%
	mHg	3.3%	22.2%	23.8%	17.0%	27.0%
im Lokal	oHg	-	2.0%	12.1%	10.1%	75.8%
	mHg	-	7.9%	22.5%	25.8%	43.8%
bei der Arbeit	oHg	-	6.1%	4.1%	28.6%	61.2%
	mHg	2.6%	23.7%	42.1%	23.7%	7.9%

in der Kirche	oHg	-	5.2%	13.0%	19.5%	62.3%
	mHg	4.3%	25.7%	22.9%	22.9%	24.3%
Telefon- / Türklingel	oHg	-	9.0%	8.0%	29.0%	54.0%
	mHg	3.3%	36.3%	27.5%	24.2%	8.8%
Lokalisation	oHg	-	14.1%	14.1%	19.2%	52.6%
	mHg	1.2%	25.6%	24.4%	29.1%	19.8%

5 Höreräteträger geben an, Schwierigkeiten mit dem Auf- und Absetzen zu haben, beim Wechseln der Batterien sind dies 7, und bei der Lautstärkeregelung klagen 25 Personen über Schwierigkeiten.

Zusätzlich zur Befragung wurde die Handgeschicklichkeit beurteilt. Dazu sollten die Befragten die Bedienung ihres Hörgerätes demonstrieren: Auf- und Absetzen, Wechseln der Batterien, Einstellen der Lautstärke. Bei 15 Schwerhörigen zeigten sich geringe Einschränkungen der Handgeschicklichkeit aufgrund von Versteifung oder Tremor, eine Schwerhörige konnte sich das Hörgerät nicht selbst einsetzen.

Auch bei dieser Befragung wurden die Schwerhörigen direkt nach der Zufriedenheit mit ihrem Gerät gefragt (Tabelle 5). Sehr zufrieden sind 26, zufrieden 40 Befragte und weder zufrieden noch unzufrieden 15; 11 geben an, unzufrieden zu sein und 8 sind sehr unzufrieden.

Tabelle 5: Häufigkeit (%) der gewählten Kategorie für die Zufriedenheit mit dem Hörgerätes

	sehr zufrieden	zufrieden	mittel	unzufrieden	sehr unzufrieden
Zufriedenheit mit dem Hörgerät	26%	40%	15%	11%	8%

Auffällig ist die Differenz zu den Ergebnissen von Voruntersuchung 1. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß bei Voruntersuchung 2 eine eingehendere persönliche Befragung stattfand. In deren Verlauf wurden viele Bereiche, die Schwerhörigkeit und Hörgerät betreffen, angesprochen. Die Schwerhörigen hatten die Möglichkeit, all diese Bereiche für die Bewertung zu berücksichtigen; bei Voruntersuchung 1 wurden dagegen nur wenige Aspekte angesprochen.

IV - 1.3.3 Voruntersuchung 3: Befragung von Hörgeräte-Akustikern

Während einer Informationsveranstaltung, die am 26.2.1994 in den Räumen des Instituts stattfand und zu der die Hörgeräte-Akustiker aus dem Raum Unterfranken geladen waren, wurde eine Befragung der Teilnehmer durchgeführt. Verwendet wurde hierzu ein Fragebogen (Anhang 3), der Fragen zu Schwierigkeiten bei Höreräteträgern, Tragegewohnheiten, Gründen für das Nicht-Tragen von Hörgeräten und Vorschlägen zur Verbesserung der Hörgeräteversorgung beinhaltet.

Die Untersuchung erhebt keinen Anspruch auf Repräsentativität der Ergebnisse; sie wurde durchgeführt, um Anregungen für die epidemiologische Untersuchung der 3. Projektphase von fachlich kompetenter Seite zu erhalten; trotzdem sollen im folgenden die Ergebnisse dargestellt werden:

Bei der Frage nach den Schwierigkeiten, die allgemein bei Höreräteträgern auftreten, wird unter dem hörgeräte-technischen Aspekt an erster Stelle die Handhabung genannt; allerdings wenden sich in der Regel nur diejenigen Schwerhörigen an ihren Höreräte-Akustiker, die mit der Bedienung nicht zurechtkommen; somit dürfte die Häufigkeit der Nennung dieses Punktes sicherlich die tatsächliche

Häufigkeit dieses Problems überschätzen. Weiter genannt wird die für die Schwerhörigen oft schwierige Pflege vor allem von IdO-Geräten.

Ein weiteres Problem sehen die Befragten in der oftmals negativen Einstellung der Schwerhörigen zu Hörgeräten, die von den Hörgeräteträgern eher als Prothese denn als Hörhilfe betrachtet werden; hinzu kommen falsche Erwartungen, geringe Motivation und kosmetische Bedenken der Schwerhörigen.

Bei der auditiven Leistung der Geräte stellen besonders Störgeräusche und „ungewohnte“ leise Geräusche eine Belastung dar; bemängelt wird auch die Hörqualität der Geräte.

Nach Ansicht der Akustiker erfolge eine Versorgung mit Hörgerät oftmals zu spät, außerdem treten lange Gewöhnungsphasen auf.

Aus ihrer Erfahrung berichteten die Akustiker, daß etwa 62% der Schwerhörigen ihr Gerät täglich tragen, 23.7% nur gelegentlich und 12.3% überhaupt nicht. Vor ca. 20-30 Jahren seien es noch doppelt so viele Schwerhörige gewesen (24.6%), die ihr Hörgerät nicht getragen hätten.

Schätzungsweise 73.9% der Hörgeräteträger seien monaural versorgt; bei 65% davon wäre eine beidohrige Versorgung eventuell von Vorteil.

Als Gründe für das Nicht-Tragen der Geräte auf Seiten der Patienten geben die Akustiker Resignation und Desinteresse, zu hohe Erwartungen und fehlenden Hörerfolg an. Oftmals erfolge die Versorgung zu spät und nur auf Drängen des Umfeldes des Schwerhörigen, zudem bestehe Angst vor sozialen Nachteilen durch das Hörgerät.

Sinnvoll wäre hier bessere Information, um unrealistische Erwartungen vermeiden zu helfen, und Aufklärung, auch von Bezugspersonen der Schwerhörigen, frühzeitige Versorgung und anschließende Nachbetreuung. Eine Aufklärung der Hörgeräteträger sei ebenso nötig wie eine Aufklärung der Akustiker zum Nutzen von Nachbetreuung bzw. Hörtraining.

Auf der Seite der Geräte wird schlechter Frequenzgang und Klangqualität (Resonanzspitzen, hoher Klirrfaktor, hohes Eigenrauschen) und die z.T. schlechte Abstimmbarkeit auf den Hörverlust vor allem bei Einkanal-Geräten angegeben. Bei Mehrkanal-Geräten fehlen geeignete Anpaßverfahren. Oftmals sind Geräte schlecht bedienbar, teilweise zu groß und zu schwer und auch zu teuer.

Hoffnung setzen die befragten Akustiker auf die Weiterentwicklung von Schaltungen und Bauteilen (Digitaltechnik, Mehrkanalgeräte, IdO-Geräte). Bessere Bedienbarkeit würde nach ihrer Meinung durch den Einsatz von Fernbedienungen erreicht.

Für den Bereich der Diagnostik und der Anpassung von Hörgeräten kritisieren die Hörgeräte-Akustiker die unzureichende Meßtechnik (zeitaufwendige, aber uneffektive Meßverfahren) und den für Akustiker und Kunden hohe Zeitaufwand für die Hörgeräte-Anpassung. Oft könne auch nicht auf individuelle Probleme des Schwerhörigen eingegangen werden.

Benötigt werden präzisere Verfahren ohne großen Zeitaufwand für die Anpassung von Hörgeräten.

IV - 1.4 Planung und Durchführung der Untersuchung in der 3. Projektphase

Grundlage für die Erstellung des in der 3. Projektphase verwendeten Fragebogens bildete die Durchführung einer umfangreichen Literaturliste. Aus einer Auswahl von insgesamt 16 Untersuchungen in den Jahren 1964 bis 1990 (in der Literaturliste mit * gekennzeichnet, siehe Anhang 6) und unter Einbeziehung der in den oben genannten Voruntersuchungen über Jahre hinweg gewonnenen Erfahrungen wurde eine Liste von 96 Fragen zu 11 Themenbereichen erstellt:

- Sprachverstehen in unterschiedlichen Situationen
- Wahrnehmung nichtsprachlicher Geräusche und Signale
- laute Geräusche
- Klangqualität, Übertragungsqualität
- Lokalisationsfähigkeit
- Tinnitus
- Beschreibung des Hörgerätes
- Gebrauch des Hörgerätes
- Beschreibung der Schwerhörigkeit
- soziale Aspekte der Schwerhörigkeit
- psychische Aspekte der Schwerhörigkeit

Diese Liste bildete die Grundlage für die vollständig überarbeiteten Version des Fragebogens mit nunmehr 49 Fragen aus fünf Bereichen, die meist auf vier- oder fünfstufigen Skalen durch Ankreuzen zu beantworten sind (Anhang 4).

Diese Bereiche betreffen Fragen zur Person, Fragen zu Gehör, zur Hörgeräteversorgung, Fragen zum Hören mit und ohne Hörgerät und Vorschläge zur Verbesserung der Hörgeräte.

Durch die Zusammenarbeit mit der AOK Würzburg stand uns für eine Vollerhebung eine Population von 3606 Hörgeräteträgern aus dem Raum Würzburg-Unterfranken zur Verfügung, die innerhalb der letzten fünf Jahre eine Neu- oder Ersatzversorgung mit einem Hörgerät erhalten hatten.

Wir erhielten von der AOK anonymisierte Daten zu Alter und zu Zuzahlungsbeträgen der 3606 Personen der Gesamtstichprobe, um prüfen zu können, ob zumindest bezüglich der Alters- und Geschlechtsverteilung die an der Untersuchung teilnehmenden Personen eine repräsentative Stichprobe aus der Grundgesamtheit der 3606 Hörgeräteträger darstellen.

Unter Wahrung des Datenschutzes wurde die Gesamtpopulation von der AOK Würzburg angeschrieben und unter Zusicherung der Anonymität gegenüber der AOK gebeten, an unserer Befragung teilzunehmen.

Bei Interesse konnten uns die Versicherten in Form einer Antwortkarte ihre Anschrift mitteilen und bekamen dann umgehend den Fragebogen zugeschickt. Von diesem Angebot machten 743 Personen (20.6%) Gebrauch, die im folgenden als Responder bezeichnet werden. Von diesen Respondern sandten uns 674 Personen den ausgefüllten Fragebogen zurück, was einer Rücklaufquote von 90.7% entspricht. Diese hohe Rücklaufquote konnte dadurch erreicht werden, daß nach ca. zwei Monaten diejenigen Personen, deren ausgefüllter Fragebogen noch ausstand, von uns - soweit die Telefonnummer bekannt war - angerufen und daran erinnert wurden, den Fragebogen zurückzuschicken.

Aufgrund des zweifachen Rücklaufs (Zurücksenden der Antwortkarte und Zurücksenden des Fragebogens) entstand allerdings auch eine deutliche zeitliche Verzögerung. Noch ein Jahr nach dem Anschreiben durch die AOK wurden uns Antwortkarten von Schwerhörigen, die an unserer Untersuchung teilnehmen wollten, zugesandt.

Um abzusichern, daß die Responder nicht eine spezifische Teilgruppierung der Gesamtpopulation darstellen, zogen wir aus der Gruppe derjenigen Personen, die auf das erste Anschreiben der AOK nicht geantwortet hatten - im folgenden als Non-Responder bezeichnet - eine Zufallsstichprobe von 336 Personen und ließen diese durch die AOK erneut mit einer auf sieben Fragen reduzierten Fragebogenpostkarte (Anhang 5) anschreiben. Die Rücklaufquote betrug 50.6%. Zumindest in

Teilbereichen ist eine Überprüfung der Verallgemeinerbarkeit der Responderdaten gewährleistet. Insgesamt wurden somit 844 Hörgeräteträger befragt.

Die beiden Abbildungen A und B zeigen die Rücklaufkurven für die Responder bzw. die Non-Responder; der Einbruch des Rücklaufs bei den Respondern am dritten und vierten Tag (Pfeil) ist auf einen Poststreik zurückzuführen, der zu dieser Zeit stattgefunden hat.

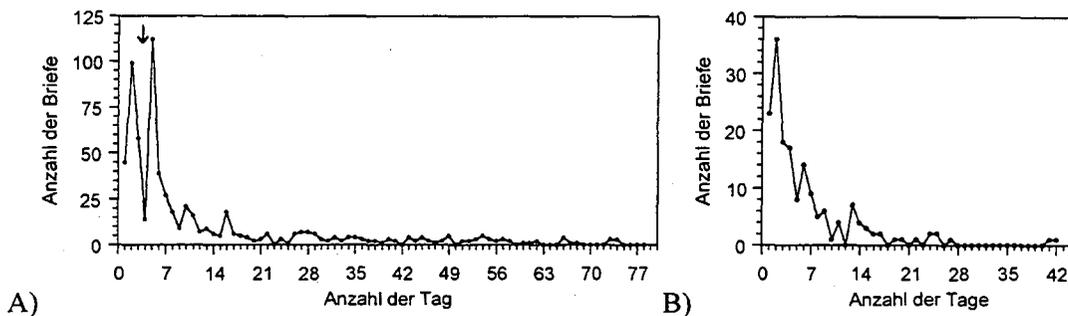


Abb.: Rücklaufkurven: A) Responder; B) Non-Responder

Für zusätzliche objektive Untersuchungen konnten von uns ca. 30 Schwerhörige gewonnen werden. Trotz großer Anstrengungen, Schwerhörige für unsere Untersuchungen zu gewinnen, lehnte eine große Anzahl ab. Als Gründe für die Ablehnung wurde im persönlichen Gespräch von den Schwerhörigen genannt, sie seien zu alt und zu gebrechlich, die ausführlichen Untersuchungen dauerten zu lange (ca. 2-3 Stunden), die Anfahrt sei zu weit oder sie seien nicht interessiert, da es ihnen wohl nichts nützen werde.

Es war uns leider nicht möglich, bei der Befragung ausführliche Informationen zu Gerätetypen oder zu audiologischen Daten zu erheben. Wir hatten bei unseren bisherigen Untersuchungen die Erfahrung gemacht, daß sehr viele Schwerhörige keine bzw. keine genauen Angaben zu Hörgerätetyp und -fabrikat bzw. Art des Ohrpaßstücks machen können. Aus diesem Grunde erschien uns eine Befragung dieser Daten aufgrund der mangelnden Zuverlässigkeit des Datenmaterials nicht sinnvoll.

IV - 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zur Durchführung mehrerer Untersuchungsreihen im Stadtgebiet von Würzburg wurden uns von der Stadt Würzburg jeweils Standplatz und Stromanschluß für das Audiomobil zur Verfügung gestellt.

In Zusammenarbeit mit der Ausstellungsgesellschaft (AFAG, Nürnberg), die für die Durchführung der Main-Franken-Messe verantwortlich war, konnten wir weitere Untersuchungen während dieser Messe durchführen.

Durch die gute Zusammenarbeit mit der AOK Würzburg war es uns möglich, für die epidemiologische Untersuchung in der dritten Projektphase Zugriff auf alle 3606 versicherten Hörgeräteträger der AOK zu bekommen, die innerhalb der letzten fünf Jahre eine Neu- oder Ersatzversorgung erhalten hatten. Die AOK übernahm das Verschicken des ersten Anschreibens an alle Versicherten, ebenso das zweite Anschreiben der Non-Responder. Desweiteren erhielten wir von der AOK anonymisierte Daten zu Alter, Geschlecht und zu Zuzahlungsbeträgen der 3606 Personen der Gesamtstichprobe.

IV - 2 Erzielte Ergebnisse

Im folgenden sollen kurz die wichtigsten Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchung dargestellt werden; für weitere Informationen sei auf die im Anhang aufgeführten Abdrucke der veröffentlichten Artikel verwiesen.

IV - 2.1 Nonauditive Daten

Im Vergleich zu vielen anderen Studien liegen mit den Ergebnissen des von uns konzipierten Fragebogens Daten vor, die zumindest in Teilbereichen durch die Erhebung einer Zufallsstichprobe aus der Gruppe der Non-Responder abgesichert sind. Hervorzuheben ist auch die große Anzahl von über sechzig Ärzten und über dreißig Akustikern, welche die Hörgeräte den Schwerhörigen dieser Studie verschrieben, beziehungsweise angepaßt haben. Es ist festzustellen, daß bei den Respondern ein etwas schlechteres Hörvermögen ohne Gerät vorliegt sowie eine etwas höhere Zufriedenheit mit dem Gerät. Diese Unterschiede zur Gruppe der Non-Responder sind jedoch geringfügig und werden statistisch nicht signifikant. Damit sind Grundvoraussetzungen für eine Übertragbarkeit der Ergebnisse geschaffen.

In der Literatur findet man oft die Zufriedenheit mit dem Hörgerät definiert z.B. durch die mit Hörgerät empfundene Verbesserung in unterschiedlichen Situationen. Um derartige Zufriedenheitsdefinitionen prüfen zu können, wurde in der vorliegenden Untersuchung besonderer Wert darauf gelegt, die Zufriedenheit der Schwerhörigen mit ihren Hörgeräten sowohl direkt (Tabelle 6) als auch indirekt zu erfassen.

Tabelle 6: Vergleich der Responder und Non-Responder bezüglich ihrer Zufriedenheit mit ihrer Hörhilfe. Angegeben sind die relativen Häufigkeiten je Kategorie.

	Sehr zufrieden	eher zufrieden	eher unzufrieden	sehr unzufrieden
Responder	27.7%	41.9%	25%	5.4%
Non-Responder	20.5%	46.6%	26.1%	6.8%

Durch die Berechnung einer hierarchischen Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA) wurden wesentliche Merkmale ermittelt, die im Zusammenhang zur Zufriedenheit eines Schwerhörigen mit seinem Hörgerät stehen. Hierzu wurde ein Modellansatz zur Zufriedenheit von Schwerhörigen mit ihren Hörgeräten konzipiert, in den folgende Merkmale eingingen:

- Das Merkmal „*Verbesserung durch das Hörgerät*“ wurde aus den Differenzen der Fragen zum Hören mit und ohne Hörgerät gebildet.
- Das Merkmal „*Handhabung des Hörgeräts*“ wurde als Kennwert aus dem Zurechtkommen mit dem Hörgerät (Frage 23), dem Wunsch nach einer Fernbedienung, einem einfacheren Batteriewechsel und einer einfacheren Bedienung des Lautstärkereglers (Frage 49) ermittelt.
- Das Merkmal „*Anstrengung*“ ergab sich aus der direkten Frage nach der Anstrengung (Frage 26) und der Zeitdauer bis zur Gewöhnung an das Hörgerät (Frage 35a).
- Das Merkmal „*Belastung*“ wurde aus den Antworten zur Frage 8 (Belastung durch die Hörprobleme) erhoben.
- Das Merkmal „*Peinlichkeit*“ ist der Kennwert aus den Fragen Nr. 36, 47 und 48.

- Das Merkmal „Zufriedenheit“ setzt sich zusammen aus Antworten auf die direkte Frage nach der Zufriedenheit mit dem Hörgerät (Frage 10) und nach der durch das Hörgerät erfahrenen Hilfe (Frage 9) sowie durch eine hohe Anzahl von Tagen pro Woche, an denen das Hörgerät getragen wird (Frage 29).

Nach den Ergebnissen der KFA (Tabelle 7) besteht der höchste Zusammenhang (CHI-Quadrat: 90,892) zwischen den Merkmalen „Verbesserung“ des Hörens durch das Hörgerät und dem Merkmal „Zufriedenheit“ mit dem Hörgerät, d.h., bei großer Verbesserung wird eine hohe Zufriedenheit erzielt. Es folgen „Handhabung“ und „Zufriedenheit“, „Anstrengung“ und „Zufriedenheit“, sowie „Peinlichkeit“ und „Zufriedenheit“. Neben der wahrgenommenen auditiven Verbesserung erhöht eine gute Handhabung des Geräts die Zufriedenheit. Je geringer die Anstrengung beim Tragen des Hörgeräts ist und je weniger peinlich der Schwerhörige das Tragen des Hörgeräts in der Öffentlichkeit erlebt, desto höher ist seine Zufriedenheit.

Tabelle 7: Variablenkombinationen, Freiheitsgrad (df), CHI-Quadrate und Richtung des Zusammenhangs signifikanter KFA-Tafeln.

Merkmalskombinationen auf 0,089%-Niveau (α -Adjustierung) signifikanter KFA-Tafeln					df	CHI-QUA	Richtung
Verbesserung	Handhabung				1	16,480	positiv
Verbesserung		Anstrengung			1	22,702	negativ
Verbesserung				Zufriedenheit	1	90,892	positiv
	Handhabung	Anstrengung			1	19,842	negativ
	Handhabung		Peinlichkeit		1	30,139	negativ
	Handhabung			Zufriedenheit	1	38,361	positiv
		Anstrengung	Peinlichkeit		1	22,702	positiv
		Anstrengung		Zufriedenheit	1	26,669	negativ
			Peinlichkeit	Zufriedenheit	1	11,141	negativ

Keinen signifikanten Zusammenhang mit der Zufriedenheit hat bei dieser Form der Datenanalyse jedoch das Merkmal „Belastung“.

Da nur Zusammenhänge zweiter Ordnung (d.h. nur zwischen je zwei Merkmalen) signifikant werden und keine Zusammenhänge höherer Ordnung vorliegen, ist es möglich, eine multiple logistische Regression zur Vorhersage von Zufriedenheit vorzunehmen. Mit diesem Verfahren erhält man Auskunft, inwieweit die Wahrscheinlichkeit, daß ein Hörgeräteträger zufrieden ist, von anderen Merkmalen abhängt.

Als Ergebnis erhält man, nach entsprechender Transformation, sog. Odds Ratios, die als Faktor interpretiert werden können, um den die Chance mit dem Hörgerät zufrieden zu sein steigt, wenn beispielsweise eine Verbesserung des Hörens durch das Hörgerät gegeben ist (Tabelle 8). Hiernach vergrößert sich die Chance mit dem Hörgerät zufrieden zu sein, um mehr als das Viereinhalbfache, wenn eine Verbesserung des Hörens durch das Hörgerät erzielt wird. Bestehen keine Probleme mit der Handhabung des Geräts, erhöht die Chance mit dem Hörgerät zufrieden zu sein, um ungefähr das Zweifache. Strengt das Tragen des Hörgeräts den Schwerhörigen jedoch an, beziehungsweise ist es

ihm peinlich, sein Hörgerät in der Öffentlichkeit zu tragen, dann sinkt die Chance zufrieden zu sein um jeweils ca. das Anderthalbfache.

Tabelle 8: Dargestellt sind das Signifikanzniveau einzelner Merkmale und das Odds Ratio, sowie die zugehörige untere (<5%) und obere (>5%) Grenze des Vertrauensintervalls (VI) zum 5%-Niveau.

Merkmal:	Signifikanzniveau	Odds Ratio	< 5% VI	> 5% VI
Verbesserung	< .001	4,676	3,292	6,642
Handhabung	< .001	1,974	1,384	2,815
Anstrengung	< .013	1,569	1,098	2,241
Peinlich	< .027	1.499	1,047	2,147

Neben der Erfassung der Zufriedenheit gibt der Fragebogen durch die Fragen zum Hören ohne Hörgerät in verschiedenen Situationen Auskunft über das Gehör des Befragten. Die Fragenbereiche wurden auf fünfstufigen Kategorienskalen gemessen. Die Antwortmöglichkeiten wurden von der jeweils positivsten bis zur negativsten durch die Zahlen von 1 bis 5 codiert. Durch die Bildung der Differenz zu den Fragen zum Hören mit Hörgerät ist die erlebte Verbesserungsleistung des Hörgeräts festzustellen. In allen befragten Situationen konnte dabei eine auditive Verbesserung mit Hörgerät ermittelt werden (Tabelle 9). Dennoch wird das Hören mit Hörgerät in den meisten Fällen nicht als „sehr gut“ beziehungsweise „gut“ beschrieben, sondern eher als „es geht“. Dies weist darauf hin, daß auch auf der auditiven Seite noch ein Verbesserungspotential vorliegt.

Tabelle 9 gibt die Mittelwerte (m) und Standardabweichungen (s) der Fragen zum Hören mit und ohne Hörgerät wieder. Die inferenzstatistische Prüfung auf Mittelwertsunterschiede (t-Test für abhängige Stichproben) ergab für alle Fragen eine sehr hohe Signifikanz.

Tabelle 9: Mittelwerte (m), Standardabweichungen (s) und Differenz der Mittelwerte der Fragen zum Hören mit und ohne Hörgerät

	Hören mit Hörgerät		Hören ohne Hörgerät		Differenz
	m	s	m	s	
Hören in Ruhe	2,114	0,805	3,499	0,924	1,38
Hören in lauter Umgebung	3,528	1,010	4,314	0,711	0,79
Telefonieren	3,008	1,080	3,469	1,006	0,46
Erkennen von Stimmen	2,718	0,917	3,455	0,938	0,74
Klangqualität von Musik	2,532	0,879	3,403	0,966	0,87
Hören von Vogelgezwitscher	2,458	0,959	3,831	0,981	1,37
Undeutliches Sprechen anderer	2,565	0,908	2,232	1,178	0,33
Erschrecken durch Geräusche	3,407	1,022	2,747	1,188	0,66
Richtungshören	2,941	0,920	3,751	0,914	0,81

Die mittlere Verbesserung von Leistung und Qualität des Hörens liegt über alle neun Items gerechnet bei 0,82 Skalenteilen, also einer knappen Kategorie.

Beachtenswert ist auch, daß gutes Hören mit Hörgerät und eine deutliche Verbesserung durch das Hörgerät von den Schwerhörigen nur für die Situationen Hören in Ruhe und Hören von Vogelgezwitscher angegeben wird. In allen anderen Bereichen wird mit dem Hörgerät lediglich ein Hören erzielt, welches von den Befragten im günstigsten Fall als „es geht“ beschrieben wird. Damit wird deutlich, daß ein Hörgerät zwar hilfreich ist, daß dessen Leistung aber noch nicht ausreicht, um eine wirklich hohe Zufriedenheit bei den Trägern zu erzielen.

Aus den Vorschlägen der Hörgeräteträger an die Hörgerätehersteller läßt sich ersehen, wo nach Meinung der Befragten derzeit hauptsächlich noch Verbesserungsbedarf besteht.

An den ersten beiden Stellen steht für Hörgeräteträger eine Verbesserung bei den akustischen Leistungen der Hörgeräte: besseres Verstehen von Sprache in lauter Umgebung und eine bessere Klangqualität des Hörgeräts. Zumindest letzteres läßt sich mit herkömmlichen Anpaßverfahren noch nicht hinlänglich optimieren.

Es folgt der Wunsch nach einer besseren Reinigungsmöglichkeit der Hörgeräte und einer einfacheren Handhabung der Lautstärkeregelung; obwohl dies mit einer Fernbedienung einfach zu bewerkstelligen wäre, steht dieser Punkt an letzter Stelle.

Als weiterer wichtiger Punkt wird die Verbesserung des Ohrpaßstückes angegeben. Häufig sind Klagen über ein drückendes Ohrpaßstück oder über allergische Reaktionen wegen des Materials zu hören; zudem klagen viele Hörgeräteträger bei einer geschlossenen Anpassung über Feuchtigkeit im Ohr und der daraus folgenden Korrosion von Batterien und Gerät.

59% wünschen sich ein Gerät, das äußerlich weniger auffällig ist. Dies entspricht dem Trend der Hörgeräteindustrie hin zu kleineren und damit unauffälligeren Geräten, die im Ohrkanal plaziert werden. Zudem möchten aber 56,7%, daß das Hörgerät modischer gestaltet wird. Eine Reihe von Hörgeräteträgern ziehen beide Alternativen gleichermaßen in Erwägung. Nur scheinbar besteht also bei diesen beiden Aussagen eine Diskrepanz. Sie löst sich auf, wenn man bedenkt, daß beide Aussagen beinhalten, daß das Hörgerätetragen in der Öffentlichkeit auf die eine oder andere Weise für den Schwerhörigen angenehmer und attraktiver gestaltet werden soll.

Tabelle 10: Rangliste der Verbesserungswünsche an die Hörgerätehersteller.

„Nach meiner Erfahrung sollte beim Hörgerät verbessert werden.“	Zustimmung in %	keine Zustimmung in %
Verstehen von Sprache in lauter Umgebung	87.1	12.9
Besserer Klang des Hörgeräts	71.8	28.2
Bessere Reinigungsmöglichkeit des Hörgeräts	70.9	29.1
Einfachere Bedienung des Lautstärkereglers	64.8	35.2
Bessere Musikübertragung	64.1	35.9
Verbesserung des Ohrpaßstücks	63.6	36.7
Besseres Verstehen von Sprache in Ruhe	62.4	37.6
Geringere Auffälligkeit des Hörgeräts	59.0	41.0
Das Hörgerät sollte modischer sein	56.7	43.3
Einfacherer Batteriewechsel	41.6	58.4
Ausstattung mit einer Fernbedienung	41.3	58.7

IV - 2.2 Auditive Daten

Mit 31 der befragten Schwerhörigen - sowohl Respondern als auch Non-Respondern - wurden audiologische Untersuchungen durchgeführt.

Bei der hörfeldaudiometrischen Untersuchung der Probanden wurden Hörschwelle und überschwelliger Bereich für die Frequenzen .5, 1, 2 und 4 kHz ohne und mit Hörgerät vermessen, ebenso die Sprachverständlichkeitsschwelle (Speech reception threshold: SRT) unter Verwendung von Zahlen- und Einsilberlisten des Freiburger Sprachtests ebenfalls ohne und mit Hörgerät in Ruhe.

Dieser Sprachtest wurde verwendet, um anhand eines bei der Hörgeräteanpassung obligatorischen Standardverfahrens zu prüfen, inwieweit eine für die Hörgeräteanpassung geforderte Verbesserung durch das Hörgerät erreicht wurde.

Bei 10 Schwerhörigen mußte aus Zeitgründen auf die Durchführung des Sprachtests verzichtet werden.

Die Untersuchungen fanden im schallarmen Labor statt, die digital vorliegenden Signale wurden über einen computergesteuerten DA-Wandler ausgegeben. Als Schallwandler diente ein offener Kopfhörer AKG K1000 mit vorgeschaltetem K1000-Verstärker; dieser Kopfhörer erlaubt auch eine Untersuchung mit Hörgerät.

Für den Vergleich mit diesen Daten wurden das oben beschriebene Merkmal „Zufriedenheit“ gebildet und diejenigen Fragen des Fragebogens herangezogen, die eine dem Sprachtest vergleichbare Situation widerspiegeln: Verstehen in Ruhe ohne bzw. mit Hörgerät.

Aus den Daten der audiometrischen Untersuchung wurden zwei Parameter berechnet, die die Abweichung der individuellen Lautheitsfunktion von der Norm repräsentieren sollten.

Als Kennwert für das Ausmaß des Hörverlusts wurde die mittlere absolute Differenz (mean absolute distance, MAD in dB SPL) zwischen individueller Lautheitsfunktion und der Normfunktion bei 65 dB SPL für die Frequenzen .25, 1, 2 und 4 kHz berechnet.

Als Maß für den Einfluß von Recruitment, wurde als zweiter Parameter die mittlere Abweichung der Steigung der individuellen Lautheitsfunktion (mean deviation of the individual's slope, MDS) von der Steigung der Normfunktion im Bereich zwischen den Skalenteilen „leise“ (KU 15) und „laut“ (KU 35) auf der Kategorienunterteilungsskala (siehe Bericht Teil I) für die oben genannten Frequenzen berechnet. Tabelle 11 zeigt die Interkorrelationen für folgende Parameter: SRTs für Zahlen und Einsilber im Freiburger-Sprachtest, die Hörfeldparameter MAD und MDS, die im Fragebogen beurteilte Sprachverständlichkeit in Ruhe und das Merkmal „Zufriedenheit“ jeweils für Hören ohne und für Hören mit Hörgerät.

Tabelle 11: Interkorrelationen für die Messungen: SRT für Zahlen und Einsilber des Freiburger-Sprachtests, Hörfeldparameter MAD (mittlere Abweichung der individuellen Lautheitsfunktion von der Norm) und MDS (mittlere Steigungsabweichung der individuellen Lautheitsfunktion von der Normfunktion), die Beurteilungen des Zurechtkommens in den Situationen „Sprachverstehen in Ruhe“ und das Merkmal „Zufriedenheit mit dem Hörgerät“ jeweils ohne und mit Hörgerät. (Ein Stern bezeichnet einen signifikanten Korrelationskoeffizienten [$p < 0.5$], zwei Sterne einen hochsignifikanten Korrelationskoeffizienten [$p < 0.01$])

ohne Hörgerät

	Merkmal „Zufriedenheit“	Verstehen in Ruhe	SRT Zahlen	SRT Einsilber	MAD
Ruhe	-0.31				
SRT: Zahlen	-0.15	0.48			
SRT: Einsilber	-0.25	0.59*	0.86**		
MAD	-0.27	0.23	-0.29	-0.09	
MDS	0.15	0.27	0.22	0.53	-0.13

mit Hörgerät

	Merkmal „Zufriedenheit“	Verstehen in Ruhe	SRT Zahlen	SRT Einsilber	MAD
Ruhe	0.14				
SRT: Zahlen	-0.12	0.41			
SRT: Einsilber	0.10	0.41	0.84**		
MAD	-0.40	0.14	-0.02	-0.11	
MDS	0.34	0.51*	0.33	0.38	-0.30

Keine der Variablen zeigt eine Korrelation mit dem Merkmal „Zufriedenheit“. Ebenso konnte kein Zusammenhang zwischen SRTs im Sprachtest und Hörfeldparametern gefunden werden.

Im Gegensatz zum dem starken Zusammenhang zwischen beurteilter auditiver Verbesserung und der Zufriedenheit mit dem Hörgerät, wie er bei der Befragung gefunden wurde, findet sich auch in dieser Untersuchung eine nur schwache Beziehung zwischen objektiv gemessener Hörgeräteleistung und beurteilter Sprachverständlichkeit bzw. Zufriedenheit mit dem Hörgerät.

Zum einen scheint ein breites Konzept vollständiger die vielfältigen alltagsrelevanten Kriterien des Schwerhörigen zur Beurteilung der Zufriedenheit mit einem Hörgerät zu umfassen, als dies durch einzelne objektive Testverfahren möglich ist.

Zum anderen unterscheiden sich die Gewichtungen der Kriterien zwischen den einzelnen Schwerhörigen; für den einen steht das Sprachverstehen in lauter Umgebung im Vordergrund, für einen Berufsmusiker ist beispielsweise die Klangqualität des Hörgerätes wichtiger. Eine Korrelation zwischen der Zufriedenheit und der Verbesserung durch das Hörgerät, zeigt sich daher eher, wenn der Index für die Verbesserung sich aus vielen einzelnen unterschiedlich gewichteten Aspekten zusammensetzt.

Da derzeit vorhandene objektive Testverfahren eine nur sehr ungenügende Aussage darüber zulassen, wie der Schwerhörige im Alltag mit seinem Hörgerät zurechtkommt, ist es erforderlich, Testverfahren zu entwickeln, die es erlauben, Sprachverständlichkeit und/oder Klangqualität mithilfe alltagsnaher standardisierter Materials zu messen, das so gut wie möglich diejenigen alltäglichen Hörsituationen repräsentiert, die der Schwerhörige zur Beurteilung der Güte der Anpassung heranzieht.

IV - 2.3 Voraussichtlicher Nutzen

Von besonderem Interesse für die Hörgerätehersteller und die Hörgeräteakustiker dürften die marktwirtschaftlichen Daten über die Verbreitung von Gerätetypen, die Anzahl monauraler beziehungsweise binauraler Versorgungen sowie die Anzahl an bisher im Einsatz befindlichen Fernbedienungen sein. Darüber hinaus wird durch die Rangliste der Verbesserungswünsche der Befragten die Dringlichkeit und Notwendigkeit verschiedener Vorschläge dargestellt.

Die Ergebnisse der multiplen Regression weisen darauf hin, daß bei der Hörgeräteanpassung eine Optimierung neben den auditiven Parametern auch auf nonauditive Parameter Wert gelegt werden sollte, um damit die Zufriedenheit des Schwerhörigen mit seinem Hörgerät zu erhöhen. Dies dürfte besonders in den Fällen wichtig sein, bei denen aufgrund der Art und Ausprägung des Hörverlusts nur eine eingeschränkte auditive Rehabilitation möglich ist. In solchen Fällen sollte der Akustiker durch entsprechende Aufklärung des Schwerhörigen versuchen, die anderen nonauditiven Merkmale „Anstrengung“, „Handhabung“ und „Peinlichkeit“ möglichst positiv zu beeinflussen, um so das Risiko zu minimieren, daß sein Kunde das Hörgerät aufgrund seiner Unzufriedenheit nicht trägt.

IV - 2.4 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

STOCK, A., FICHTL, E. & HELLER, O. (1995) *Positive und negative Aspekte des Hörgerätetragens - eine epidemiologische Studie*. DAGA '95, Saarbrücken, 195-198. (siehe Abschnitt III - 4)

STOCK, A., FICHTL, E., KNOBLACH, W., BORETZKI, M. & HELLER, O. (1995) *Über das Tragen von Hörhilfen - Ergebnisse einer epidemiologischen Studie*. Audiologische Akustik, 34, 104-124. (siehe Abschnitt III - 5)

STOCK, A., FICHTL, E. & HELLER, O. (1995) *Unauffällig und leicht zu bedienen!* Hörakustik, 10, 104-116.

FICHTL, E., KNOBLACH, W., STOCK, A., BORETZKI, M., HELLER, O. (in press) *Practical benefit of hearing aids*. In Kollmeier, B. (Hrsg.): *Psychoacoustics, Speech and Hearing aids*. World Scientific, Singapore, 331-341. (siehe Abschnitt III - 6)

STOCK, A., FICHTL, E. (in press) *Determinants of hearing aid satisfaction*. Hearing Review Monograph: "High Performance Hearing Solutions". (siehe Abschnitt III - 7)

IV - 3 Anhang

Anhang 1: Interviewleitfaden für Kurzfragebogen (Voruntersuchung 1)

- Seit wann haben Sie Hörprobleme (Beginn, zeitlicher Verlauf)?
- Auf welchem Ohr hören Sie besser (links, rechts, beide gleich, weiß nicht)?
- Sind Sie auf einem Ohr taub (links, rechts, nein)?
- Wie wichtig ist es, daß Sie Ihren Gesprächspartner sehen, wenn er spricht (Lippenlesen)?
- Hatten Sie Krankheiten oder Unfälle, die mit Ihren Hörproblemen zu tun haben (Mittelohrerkrankungen, Hörsturz, Infektionen, Trommelfellperforationen, Knalltrauma, Operationen am Ohr)?
- Sind Sie starkem Lärm ausgesetzt gewesen (Arbeitsplatz, Freizeit, Disco, Walkman)?
- Sind Sie lärmempfindlich?
- Haben Sie ein Hörgerät (links, rechts, binaural)?
- Wenn ja, seit wann?
- Hörgerätetyp (HdO, IdO, Hörbrille, Taschengerät, Knochenleitungsgerät / mit Fernbedienung)?
- Hersteller undGerätebezeichnung?
- Ohrpaßstück (ja/nein, offen/geschlossen, Bohrung)?
- Wie oft wechseln Sie die Batterien?
- Batteriespannung → mit Spannungsprüfer zu messen
- Wie oft gehen Sie zum Kundendienst zum Akustiker (zu welchem)?
- Welche Mängel hat das Hörgerät?
- Welcher Arzt hat das Hörgerät verschrieben?
- Wer hat das Hörgerät bezahlt (privat, Kasse, Zuzahlung)?
- Frühere Hörgeräte (Typ, Hersteller, Bezeichnung, wann getragen)?
- Wie einfach lassen sich Lautstärkesteller und Regler des Hörgerätes bedienen?
- Wie einfach läßt sich die Batterie wechseln?
- Wie einfach geht das Aufsetzen und Abnehmen des Hörgerätes?
- Wieviele Tage in der Woche tragen Sie das Hörgerät?
- Wieviele Stunden am Tage tragen Sie das Hörgerät?
- In welchen Situationen tragen Sie das Hörgerät - in welchen nicht? (Gründe)
- Wie gut verstehen Sie mit Hörgerät
 - in ruhiger Umgebung?
 - in lauter Umgebung, wenn mehrere Leute gleichzeitig sprechen?
 - in großen halligen Räumen (Saal, Kirche)?
 - beim Fernsehen?
- Wie gut verstehen Sie **ohne** Hörgerät
 - in ruhiger Umgebung?
 - in lauter Umgebung, wenn mehrere Leute gleichzeitig sprechen?
 - in großen halligen Räumen (Saal, Kirche)?
 - beim Fernsehen?
- Wie zufrieden sind Sie insgesamt mit Ihrem Hörgerät?
- Nennen Sie den wichtigsten grund, warum Sie mit Ihrem Hörgerät zufrieden / unzufrieden sind?

Anhang 2: Interviewleitfaden für Voruntersuchung 2

Angaben zur Person:

- Ort, Datum der Befragung
- Name, Alter, Geschlecht

Krankengeschichte:

- Wie sind Sie auf die Schwerhörigkeit aufmerksam geworden?
- Was für eine Hörstörung haben Sie?
- Seite der Hörstörung (links, rechts, beidseitig)?
- Behandlung?
- Wann wurde die Hörstörung festgestellt?
- Besteht eine erbliche Belastung?
- Unfälle, Erkrankungen, die mit der Schwerhörigkeit in Zusammenhang stehen?
- Lärmbelastung im Beruf / in der Freizeit
- Allgemeiner Gesundheitszustand
- Wie gut können Sie sehen?

Schwierigkeiten in unterschiedlichen Hörsituationen:

- In welchen Situationen hören Sie schlecht? Wie äußert sich das? (mit / ohne Hörgerät)
- im Zweiergespräch, im Gespräch mit mehreren, beim Musikhören, beim Radiohören, beim Fernsehen, am Telefon, im Lokal, bei der Arbeit, in der Kirche, Telefon- bzw. Türklingel, Richtungshören
- Welche Hilfsmittel verwenden Sie (extra Klingel, Telefonverstärker, Kopfhörer für TV)?
- Wie lange hat es gedauert, bis Sie sich an das Hörgerät gewöhnt hatten?
- Fühlen Sie sich durch die Schwerhörigkeit behindert? Inwiefern?
- Wie haben Sie reagiert, als der Arzt zum ersten Mal von einem Hörgerät gesprochen hat? Wollten Sie vorher schon ein Hörgerät?
- Ist für Sie ein Hörgerät mit einer Brille vergleichbar?
- Glauben Sie daß andere ein Hörgerät genauso wie eine Brille akzeptieren?
- Welche der folgenden Erkrankungen wäre für Sie am schlimmsten?
- Schlecht sehen - schlecht laufen können - schlecht hören - andauernde Rückenschmerzen - die Hände nicht mehr gut bewegen können
- Wie müßte ein Hörgerät aussehen, um nicht zu stören?
- Sind Hörgeräte zu teuer?
- Fühlen Sie sich gelangweilt oder deprimiert, wenn Sie einer Unterhaltung nicht folgen können?
- Was tun Sie, wenn Sie einer Unterhaltung nicht folgen können?
- Empfinden Sie das Hörgerät als Fremdkörper?
- Haben Sie ein druckgefühl oder Schmerzen?
- Wie reagiert die Umwelt auf die Schwerhörigkeit? (Familie, Pflegepersonal, Fremde)
- Haben Sie einer veränderte Lärm bzw. Geräuschempfindlichkeit (Situation, Geräuschart)?
- Wie wichtig ist es Ihnen, besser zu hören?

Hörgerät:

- Wann wurde das Gerät verschrieben?
- Wie oft wurde das Gerät ersetzt?
- Wer hat verschrieben?
- Wer hat angepaßt?
- Linkes / rechtes Ohr: Typ, Fabrikat, Versorgungsart?
- Finanzierung des Hörgerätes?
- Kundendienst? (wer, wie oft, wie gut)
- Nachuntersuchung? (wann, wer hat durchgeführt)
- Wie zufrieden sind Sie mit der Aufklärung durch den Arzt?
- Wie zufrieden sind Sie mit der Aufklärung durch den Akustiker?
- Wurde Ihnen erklärt, wie Ihr Hörgerät funktioniert?

Gebrauch des Hörgeräts:

- Wie lang werden die Geräte getragen? (Anzahl der Tage, Anzahl der Stunden pro Tag)
- Bei welchen Anlässen, bei welchen nicht?
- Was wollen Sie hören? (Konzert, Theater, Fernsehen, Radio, gesellige Treffen)
- Verstellt sich das Hörgerät leicht von selbst?
- Wie gut kommen Sie mit der Bedienung zurecht?
- Demonstration: Auf- / Absetzen, Ein- / Ausschalten, Einstellen, Batterien wechseln
- Wie oft wechseln Sie die Batterien?

Lebenssituation:

- Lebenssituation: Selbständigkeit, Beweglichkeit, Aktivitäten, Außenkontakte
- Mit wievielen Personen sprechen Sie am Tag?
- Telefongespräche pro Woche?
- Besuche / längere Gespräche pro Woche?
- Hat sich die Häufigkeit der Kontakte durch die Schwerhörigkeit verändert?
- Hat sich die Häufigkeit der Kontakte durch das Hörgerät verändert?
- Wünsch Sie sich mehr Kontakte oder haben Sie genug Ansprache?
- Wie zufrieden sind Sie im allgemeinen mit Ihrem Hörgerät?
- Bewertung: Handgeschicklichkeit, geistige Leistungsfähigkeit

Anhang 3: Akustikerbefragung

- 1) Welche Schwierigkeiten treten nach Ihrer Erfahrung bei Hörgeräteträgern auf?
- 2) Welches sind die Gründe für die Nutzung des Kundendienstes durch Hörgeräteträger?
- 3) Wie häufig werden Hörgeräte nach Ihrer Erfahrung (Kundendienst, Batterieverbrauch, usw.) getragen?
(täglich, gelegentlich, überhaupt nicht)
täglich _____ %
gelegentlich _____ %
überhaupt nicht _____ %
- 4) In den letzten Jahren hat sich die Güte der Hörgeräte außerordentlich verbessert. Wie hoch, glauben Sie, hat sich die Akzeptanz erhöht?
Vor 20-30 Jahren verschwanden in der Schublade etwa _____ % der Geräte.
Heute sind es vermutlich _____ % der Geräte.
- 5) Woran liegt es, daß auch gegenwärtig Hörgeräte nicht getragen werden?
 - a) Es liegt am Patienten, z.B. ... Was könnte hier verbessert werden?
 - b) Es liegt an der Unvollkommenheit der gegenwärtigen Geräte, z.B. ... Was könnte man hier verbessern?
 - c) Es liegt an der Anpassung. Wo gibt es Probleme? Welche? Was ließe sich verbessern?
 - d) Es liegt an der Diagnostik. Was ließe sich verbessern?
 - e) Es liegt an der einohrigen Versorgung?
Ca. _____ % sind einohrig versorgt, bei ca. _____ % davon wäre eine beidohrige Versorgung eventuell von Vorteil.
 - f) Es liegt an mangelndem Hörtraining nach der Erstanpassung. Was ließe sich verbessern?
- 6) Was könnte man tun, um die Hörgeräteversorgung allgemein zu verbessern?
Probleme, die hier nicht genannt sind:

Anhang 4: Fragebogen der Epidemiologischen Studie in Projektphase 3

Fragen zur Person

CODE: _____

- 1) Geburtsdatum: _____
- 2) Wie lange haben Sie schon Hörprobleme: ca. _____ Jahre
- 3) Wie haben sich Ihre Hörprobleme entwickelt:
Verlauf der Verschlechterung: langsam schnell stufenweise
Sind Ihnen Ursachen bekannt: Krankheit Lärm Unfall
- 4) Leben Sie: alleine mit der Familie mit anderen Personen
- 5) Waren oder sind Sie starkem Lärm ausgesetzt:
 sehr oft oft gelegentlich selten nie
- 6) Wie stark sind Ihre Hörprobleme:
 sehr stark stark es geht schwach sehr schwach
- 7) Sind Sie auf einem Ohr taub oder fast taub:
 links (fast) taub nein rechts (fast) taub
- 8) Wie stark werden Sie durch Ihre Hörprobleme belastet:
 sehr stark stark deutlich ein wenig gar nicht
- 9) Wie hilfreich ist für Sie Ihr Hörgerät:
 sehr hilfreich eher hilfreich weniger hilfreich nicht sehr hilfreich
- 10) Wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Hörgerät:
 sehr zufrieden eher zufrieden eher unzufrieden sehr unzufrieden
- 11) Wie ist Ihr allgemeiner Gesundheitszustand:
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht

Fragen zu Ihrem Gehör

- 12) Wie gut verstehen Sie *ohne* Hörgerät, wenn Sie sich *in ruhiger Umgebung* mit jemandem unterhalten:
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 13) Wie gut verstehen Sie *ohne* Hörgerät, wenn Sie sich *in einer größeren Gesellschaft* mit jemandem unterhalten:
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 14) Wie gut können Sie sich *ohne* Hörgerät am Telefon verständigen:
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 15) Wie gut können Sie *ohne* Hörgerät einen Bekannten an seiner Stimme erkennen:
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 16) Wie gut klingt für Sie *ohne* Hörgerät Musik:
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 17) Wie gut können Sie *ohne* Hörgerät Vogelgezwitscher z.B. im Park oder im Wald hören:
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 18) Wie oft bemerken Sie *ohne* Hörgerät, daß andere Personen zu undeutlich sprechen:
 sehr oft oft gelegentlich selten nie
- 19) Wie oft kommt es vor, daß Sie *ohne* Hörgerät erschrecken, weil Sie jemanden zu spät gehört haben:
 sehr oft oft gelegentlich selten nie
- 20) Sie hören eine Fahrradklingel oder Autohupe; wie gut können Sie *ohne* Hörgerät die Richtung angeben, aus der das Geräusch kommt:
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht

Fragen zum Hörgerät

- 21) Wie sieht Ihre Hörgerätversorgung aus (Mehrfachantworten sind möglich):
- | | | |
|---|---|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Gerät hinter dem Ohr (HdO) | <input type="checkbox"/> ohne Ohrpaßstück | <input type="checkbox"/> beidohrig |
| <input type="checkbox"/> Gerät im Ohr (IdO) | <input type="checkbox"/> mit Ohrpaßstück | <input type="checkbox"/> links |
| <input type="checkbox"/> Hörbrille | <input type="checkbox"/> ohne Bohrung | <input type="checkbox"/> rechts |
| <input type="checkbox"/> Knochenleitungsgerät | <input type="checkbox"/> mit Bohrung | |
| <input type="checkbox"/> Taschengerät | | |
- 22) Ist Ihr Hörgerät mit einer Fernbedienung ausgestattet? ja nein
- 23) Wie kommen Sie mit Ihrem Hörgerät zurecht (Auf- und Absetzen, Einstellen, Batteriewechsel):
- | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> sehr gut | <input type="checkbox"/> gut | <input type="checkbox"/> es geht | <input type="checkbox"/> schlecht | <input type="checkbox"/> sehr schlecht |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
- 24) Wie oft bemerken Sie oder andere Rückkopplungspfeifen bei Ihrem Hörgerät:
- | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> sehr oft | <input type="checkbox"/> oft | <input type="checkbox"/> gelegentlich | <input type="checkbox"/> selten | <input type="checkbox"/> nie |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
- 25) Nach wieviel Tagen müssen Sie in der Regel die Batterien wechseln: ca. _____ Tage.
- 26) Wie oft bemerken Sie, daß das Tragen des Hörgeräts Sie anstrengt:
- | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> sehr oft | <input type="checkbox"/> oft | <input type="checkbox"/> gelegentlich | <input type="checkbox"/> selten | <input type="checkbox"/> nie |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
- 27) Angenommen, Ihr Hörgerät ist 14 Tage in der Reparatur, wie kämen Sie in dieser Zeit ohne Hörgerät zurecht?
- | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> ganz gut | <input type="checkbox"/> gut | <input type="checkbox"/> es geht | <input type="checkbox"/> schlecht | <input type="checkbox"/> ganz schlecht |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
- 28) Wie oft nehmen Sie den Kundendienst beim Akustiker in Anspruch: ca. ___ im Jahr.
- 29) Wieviele Tage in der Woche tragen Sie Ihr Hörgerät: ca. _____ Tage pro Woche.
- 30) Wieviele Stunden pro Tag tragen Sie Ihr Hörgerät: ca. _____ Stunden pro Tag.
- 31) Welcher Arzt hat das Hörgerät verschrieben: _____
- 32) Welcher Akustiker hat das Hörgerät angepaßt: _____
- 33) Wie lange besitzen Sie Ihr derzeitiges Hörgerät: ca. _____ Jahre.
- 34) Ihr wieviertes Hörgerät ist Ihr derzeitiges Hörgerät: _____.
- 35) Hatten Sie Probleme mit der Gewöhnung an das Hörgerät? ja nein
- 35a) Wie lange hat es gedauert, bis Sie sich an Ihr Hörgerät gewöhnt hatten:
ca. _____ Monate.
- 36) Ist es Ihnen peinlich, Ihr Hörgerät in der Öffentlichkeit zu tragen?
- | | | | |
|--|-----------------------------------|---|---|
| <input type="checkbox"/> sehr peinlich | <input type="checkbox"/> peinlich | <input type="checkbox"/> ein wenig peinlich | <input type="checkbox"/> macht mir nichts aus |
|--|-----------------------------------|---|---|

Fragen zum Hören mit Hörgerät

- 37) Wie gut verstehen Sie *mit* Hörgerät, wenn Sie sich *in ruhiger Umgebung* mit jemandem unterhalten:
- | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> sehr gut | <input type="checkbox"/> gut | <input type="checkbox"/> es geht | <input type="checkbox"/> schlecht | <input type="checkbox"/> sehr schlecht |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
- 38) Wie gut verstehen Sie *mit* Hörgerät, wenn Sie sich *in einer größeren Gesellschaft* mit jemandem unterhalten:
- | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> sehr gut | <input type="checkbox"/> gut | <input type="checkbox"/> es geht | <input type="checkbox"/> schlecht | <input type="checkbox"/> sehr schlecht |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
- 39) Wie gut können Sie sich *mit* Hörgerät am Telefon verständigen:
- | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> sehr gut | <input type="checkbox"/> gut | <input type="checkbox"/> es geht | <input type="checkbox"/> schlecht | <input type="checkbox"/> sehr schlecht |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
- 40) Wie gut können Sie *mit* Hörgerät einen Bekannten an seiner Stimme erkennen:
- | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> sehr gut | <input type="checkbox"/> gut | <input type="checkbox"/> es geht | <input type="checkbox"/> schlecht | <input type="checkbox"/> sehr schlecht |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
- 41) Wie gut klingt für Sie *mit* Hörgerät Musik:
- | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> sehr gut | <input type="checkbox"/> gut | <input type="checkbox"/> es geht | <input type="checkbox"/> schlecht | <input type="checkbox"/> sehr schlecht |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
- 42) Wie gut können Sie *mit* Hörgerät Vogelgezwitscher z.B. im Park oder im Wald hören:
- | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> sehr gut | <input type="checkbox"/> gut | <input type="checkbox"/> es geht | <input type="checkbox"/> schlecht | <input type="checkbox"/> sehr schlecht |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|

Anhang 6: Verwendete Literatur

Die mit * gekennzeichnete Literatur bildete die Grundlage für die Erstellung des Fragebogens der epidemiologischen Studie in der 3. Projektphase (Anhang 4):

- * ARMBRUSTER, J.M., MILLER, M.H. (1981). *How to get the most out of your hearing aid*. Library of congress catalogue, 1981/1986, Washington D.C.
- * BARCHAM, L.J., STEPHENS, S.D.G. (1980). *The use of an open-ended problems questionnaire in auditory rehabilitation*. British Journal of Audiology. 14, 49-54.
- BERGER, K.W., ABEL, D., HAGBERG, E., PUZZ, L., VARAVVAS, D. & WELDELE, F. (1982). *Successes and Problems of Hearing Aid Users*. Hearing Aid Journal. 35/12, 26-30.
- BROOKS, D.N. (1985). *Factors relating to the under-use of postaural hearing aids*. British Journal of Audiology. 19, 211-217.
- * CHUNG, S.M., STEPHENS, S.D.G. (1986). *Factors influencing binaural hearing aid use*. British Journal of Audiology. 20, 129-140.
- * COMBS, A. (1986). *Hearing loss help*. Impact Publishers. San Luis, California.
- COX, R.M., ALEXANDER, G.C. (1991) *Hearing aid benefit in everyday environments*. Ear and Hearing, Voll. 12, 2, 127-139.
- * COX, R.M., GILMORE, C. (1990). *Development of the profile or hearing aid performance (PHAP)*. Journal of Speech and Hearing Research. 33, 343-357.
- * EWERTSEN, H.W., BIRK-NIELSEN, H. (1973). *Social Hearing Handicap Index. Social Handicap in Relation to Hearing Impairment*. Audiology. 12, 180-187.
- FLORIN, I. (1990). *Psychische Symptome und Krankheitsanfälligkeit bei schwerhörigen Erwachsenen. Teil I. Hörakustik 9/90*, 17-21.
- GERBER, S.E., FISHER, L.B (1979). *Prediction of Hearing Aid User Satisfaction*. Journ. of the American Auditory Soc. 5, 35-40.
- * GIOLAS, T.G., OWENS, E., LAMB, S.H. & SCHUBERT, E.D. (1979). *Hearing Performance Inventory*. Journal of Speech and Hearing Disorders. 29, 169-195.
- * GOLABEK, W., NOWAKOWSKA, M. SIWIEC, H. & STEPHENS, S.D.G. (1988). *Self-reported benefits of hearing aids by the hearing impaired*. British Journal of Audiology. 22, 183-186.
- * HAGGARD, M.P., FOSTER, J.R. & IREDALE, F.E. (1981). *Use and benefit of postaural aids in sensory hearing loss*. Scand. Audiol. 10, 45-52.
- * HIGH, W.S., FAIRBANKS, G., & GLORIG, A. (1964). *Scale for Self-Assessment of Hearing Handicap*. Journal of Speech and Hearing Disorders.
- HOLUBE, I., KOLLMEIER, B. (1991). *Ein Fragebogen zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens: Erstellung der Fragen und Beziehung zum Tonschwellenaudiogramm*. Audiol. Akustik. 30, 48-64.
- HOLUBE, I., KOLLMEIER, B. (1994). *Beziehungen zwischen dem Einsilber-Reimtest in Ruhe und der Ton- und Sprachaudiometrie*. Audiol. Akustik. 33, 22-35.
- * HUTTON, CH.L., CANAHL, J.A. (1985) *Scaling patient reports of hearing aid benefit*. The journal of auditory research, Vol. 25, 255-269.
- IFAV (1994). *Hörgeräte zum Festbetrag. Zuzahlungsfreie Angebote und Zufriedenheit der Patienten, Ergebnisse empirischer Untersuchungen im Auftrage des Bundesministeriums für Gesundheit*. Köln.

KAPTEYN, T.S. (1977). *Satisfaction with fitted hearing aids. I. An analysis of rather technical information.* Scand. Audiol. 6, 147-156.

* KAPTEYN, T.S. (1977). *Satisfaction with fitted hearing aids. II. An investigation into the influence of psycho-social factors.* Scand. Audiol. 6, 171-177.

KINKEL, M., HOLUBE, I (1995). *Erfassung der subjektiven Bewertung der Hörgeräteversorgung mit Hilfe eines Fragebogens.* Audiol. Akustik. 4, 182-194.

KOCHKIN, S. (1990). *One more time... What did the 1984 HLA survey say?* Hear. Instr. 41(11), 10-20.

KOCHKIN, S. (1990). *Introducing Marke Trak: A consumer tracking survey of the hearing-instrument market.* Hear. Journ. 43(5), 17-27.

KOCHKIN, S. (1991). *Hearing professionals' view on market expansion. Part I.* Hear. Instr. 42(12), 6-8.

KOCHKIN, S. (1991). *MarkeTrak II: More Mds give hearing tests, yet hearing aid sales remain flat.* Hear. Journ. 44(2), 24-35.

KOCHKIN, S. (1992). *Hearing professionals' view on market expansion. Part II.* Hear. Instr. 43(1), 14-16.

KOCHKIN, S. (1992). *Hearing professionals' view on market expansion.* Hear. Instr. 43(2), 26-28.

KOCHKIN, S. (1992). *MarkeTrak III: Higher hearing aid sales don't signal better market penetration.* Hear. Journ. 45(7), 47-54.

KOCHKIN, S. (1992). *MarkeTrak III identifies key factors in determining consumer satisfaction.* Hear. Journ. 45(8), 39-44.

KOCHKIN, S. (1992). *MarkeTrak III-Part 3: Would lower retail prices grow the market?.* Hear. Journ. 45(9), 33-38.

KOCHKIN, S. (1993). *MarkeTrak III: Why 20 Million in US don't use hearing aids for their hearing loss.* Hear. Journ. 46(1), 20-27.

KOCHKIN, S. (1993). *MarkeTrak III: Why 20 Million in US don't use hearing aids for their hearing loss.* Hear. Journ. 46(2), 26-31.

KOCHKIN, S. (1995). *Subjective Measures of Satisfaction & Benefit: Establishing Norms.* (in press).

NEUMANN, T. (1994). *Zuzahlungen für Hörgeräte und Zufriedenheit der Versicherten.* Die Betriebskrankenkasse. 5/94, 304-312.

* NOBLE, W.G. (1979). *The hearing measurement scale as a paper-pencil form: preliminary results.* Journal of the American Auditory Society. 5, 95-106.

NOBLE, W.G., ATHERLEY, G.R.C. (1970). *The hearing measurement scale: a questionnaire for the assessment of auditory disability.* Journal of Auditory research, Vol. 10, 229-250.

OJA, G.L., SCHOW, R.L. (1984). *Hearing Aid Evaluation Based on Measures of Benefit, Use and Satisfaction.* Ear and Hearing. 5, 77-86.

SCHMITT, R., DRESSEN, K. (1992). *Marktreport Hörgeräte. Tendenzen in der Versorgung von Personen mit auditiver Kommunikationsbehinderung.* ProMeComm. Hamburg.

SORRI, M., LUOTONEN, M. & LAITAKARI, K. (1984). *Use and Non-Use of Hearing Aids.* British Journ. of Audiology. 18, 169-172.

SWEETOW, R. W. (1990) *Binaurale Versorgung in den USA.* 35. Internationaler Hörgeräte-Akustiker-Kongreß, Mainz.

TANNAHILL, J.C. (1979). *The hearing handicap scale as a measure of hearing aid benefit.* Journal of speech and hearing disorders, Vol. 44, 91-99.

* WALDEN, B.E., SCHWARTZ, D.M., WILLIAMS, D.L., HOLUM-HARDEGEN, L. & CROWLEY, J. (1983). *Tests of the assumptions underlying comparative hearing Aid Evaluations*. Journal of Speech and Hearing Disorders. 48, 264-273.

WALDEN, B.E., DEMOREST, M.E. & HEPLER, E.L. (1984). *Self-report approach to assessing benefit dereived from amplification*. Journal of Speech and Hearing Research. 27, 49-56.

* WAYNER, D. S. (1990). *The hearing aid handbook. Clinician's Guide to Client Orientation*. Clerk Books, Gallaudet University Press. Washington, D.C.

* v. WEDEL, H. (1983). *Analysis and evaluation of the social hearing ability among old persons by means of the Social Hearing Handicap Index (SHHI)*. Bulletin of Audiophonology, Vol. 16, 8, 207-218.

IV - 4 Positive und negative Aspekte des Hörerätetragens - eine epidemiologische Studie

A. STOCK, E. FICHTL UND O. HELLER

PSYCHOLOGISCHES INSTITUT DER UNIVERSITÄT WÜRZBURG, LEHRSTUHL III

IV - 4.1 Einleitung

Dem im Bereich der Audiometrie tätigen Wissenschaftler kommen immer wieder Klagen von Schwerhörigen unter, die mit ihrem Hörgerät nicht zufrieden sind. Zum einen werden auditive Aspekte wie beispielsweise die schlechte Sprachverständlichkeit bei Hintergrundgeräuschen beklagt, zum anderen werden aber auch non-auditive Aspekte wie Hautreizungen durch das Ohrpaßstück mitgeteilt. Obwohl es, insbesondere im angloamerikanischen Sprachraum, eine ganze Reihe von Fragebogen- und Interviewuntersuchungen zu den Problembereichen von Höreräteträgern gibt (z.B. Berger et al., 1982, Brooks, 1985) und auch in Deutschland durch die Erhebungen von Holube und Kollmeier (1991, 1994) sowie durch die Untersuchungen des Instituts für angewandte Verbraucherforschung e.V. (1994) einige Daten vorliegen, war es uns dennoch ein Anliegen, im Rahmen des Forschungsprojektes „Hilfen für Hörgeschädigte“ ein neues Befragungsinstrument zu konzipieren. Dabei war es ein Ziel, neben den in bisherigen Untersuchungen standardmäßig erhobenen Bereichen wie Hören mit und ohne Hörgerät in Ruhe, in Störgeräuschen und Richtungshören auch Fragen zur Klangqualität, zur Zufriedenheit mit dem Hörgerät, zum Aussehen des Gerätes sowie zur Genese und Entwicklung der Hörstörung des Schwerhörigen zu stellen. Darüber hinaus wurden die Befragten aufgefordert, in Form von geschlossenen und offenen Antworten eigene Vorschläge für eine Verbesserung der Hörgeräte mitzuteilen.

IV - 4.2 Methode

Der Fragebogen besteht aus 49 Fragen, die überwiegend auf vier- bzw. fünfstufigen Skalen durch Ankreuzen zu beantworten waren. Die Items wurden nach einer umfassenden Literaturanalyse entsprechender Untersuchungen und eigener, inzwischen jahrelanger Erfahrung im Umgang mit Schwerhörigen erstellt.

Durch die Zusammenarbeit mit der AOK Würzburg stand uns eine Population von 3606 Höreräteträgern aus dem Raum Würzburg-Unterfranken zur Verfügung, die innerhalb der letzten fünf Jahre eine Neu- oder Ersatzversorgung mit einem Hörgerät erhalten hatten. Aus Gründen des Datenschutzes wurde die Gesamtpopulation von der AOK Würzburg angeschrieben und gebeten, an unserer Befragung teilzunehmen. Bei Interesse konnten uns die Versicherten in Form einer Antwortkarte ihre Anschrift mitteilen und bekamen dann umgehend den Fragebogen zugeschickt. Von diesem Angebot machten 743 Personen (20,6%) Gebrauch, die im folgenden als Responder bezeichnet werden. Von diesen Respondern sandten uns 674 Personen den ausgefüllten Fragebogen zurück, was einer Rücklaufquote von 90,7% entspricht. Um sicher zu sein, daß die Responder nicht eine spezifische Teilgruppierung der Gesamtpopulation sind, haben wir aus der Gruppe derjenigen Personen, die auf das erste Anschreiben der AOK nicht geantwortet haben - im folgenden als Nonresponder bezeichnet - eine Zufallsstichprobe von 336 Personen gezogen und diese durch die AOK erneut mit einem auf sechs Fragen reduzierten Fragebogen anschreiben lassen. Die Rücklaufquote betrug dabei 50,6%. Damit ist zumindest in Teilbereichen eine Überprüfung der

Verallgemeinerbarkeit der Responderdaten gewährleistet. Insgesamt wurden somit 844 Höreräteträger befragt.

IV - 4.3 Ergebnisse

Ein Vergleich der von Respondern und Nonrespondern erhobenen Daten der Bereiche: Zufriedenheit mit dem Hörgerät, Batteriewechselintervalle, Tragedauer, Hören mit und ohne Hörgerät in Gesellschaft erbrachte keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Auch die Altersverteilung beider Teilpopulationen ist vergleichbar, deshalb werden im folgenden nur die Ergebnisse der Responder dargestellt.

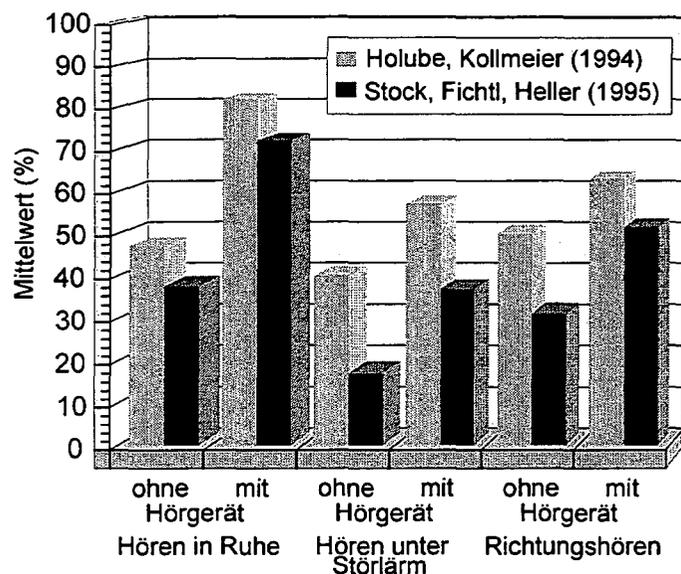


Abb. 1 Vergleich der Ergebnisse von Holube und Kollmeier mit unseren Daten.

Auf die Frage „Wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Hörgerät?“ gaben uns auf einer vierstufigen Skala von „sehr zufrieden“, „eher zufrieden“, „eher unzufrieden“ bis „sehr unzufrieden“ 27,7% der Responder an, mit ihrem Gerät sehr zufrieden zu sein. Die überwiegende Mehrheit (41,9%) ist eher zufrieden. Eher unzufrieden sind 25%, und sehr unzufrieden sind 5,4%. Je unzufriedener der Schwerhörige mit seinem Gerät ist, desto schlechter kommt er auch mit der Bedienung des Gerätes zurecht, desto länger hat es gedauert, bis er sich an das Gerät gewöhnt hat und umso mehr strengt ihn das Tragen des Gerätes an. Darüber hinaus ist es den Unzufriedenen peinlicher, ihr Hörgerät in der Öffentlichkeit zu tragen.

In den drei Leistungsbereichen Hören in Ruhe, Hören unter Störgeräusch und Richtungshören, jeweils mit und ohne Hörgerät abgefragt, erhalten wir in unserer Studie praktisch die gleichen Ergebnisse, wie sie von Holube und Kollmeier (1994) mitgeteilt wurden. Abb. 1 zeigt dunkel die Daten unserer Erhebung und hell die Ergebnisse von Holube und Kollmeier.

Auffallend ist dabei, daß bei nahezu identischen Differenzen mit und ohne Hörgerät unsere Daten immer etwas niedriger liegen als bei Holube und Kollmeier. Eine mögliche Erklärung dieses Unterschiedes könnte darin liegen, daß Holube und Kollmeier nach der Auftretenshäufigkeit von bestimmten Problemsituationen mit und ohne Hörgerät gefragt haben, wir hingegen nach der Güte des Hörens bzw. Verstehens in diesen Situationen. Damit wird bei uns neben der Hör- und Verstehensverbesserung durch das Hörgerät auch noch der Aspekt der Übertragungsqualität erfaßt.

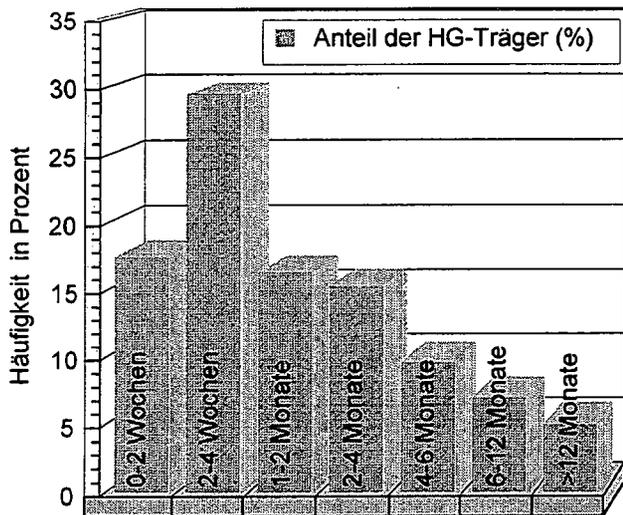


Abb. 2 Häufigkeitsverteilung der Gewöhnungsdauer an das Hörgerät.

Brooks (1985) teilt mit, daß sich innerhalb von drei Monaten 65,4% an das Hörgerät gewöhnt haben. In unserer Studie ermittelten wir für diesen Zeitraum einen Wert von 76,6%. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Gewöhnungszeiträume an das Hörgerät.

Die Frage „Wie gut klingt für Sie Musik?“ mit und ohne Hörgerät, abgefragt auf einer fünfstufigen Skala von „sehr gut“ bis „sehr schlecht“, gibt Aufschluß über die Klangqualität des Geräts. 32,2% der Befragten gaben dabei eine geringfügige Verschlechterung des Klangeindrucks durch das Hörgerät an. 67,8 % hingegen profitierten durch ihr Gerät in der Klangqualität um durchschnittlich 1,65 Kategorien. In den verbalen Kategorien der Skala ausgedrückt verbessert sich die Klangqualität von „es geht“ bis „schlecht“ hin zu „gut“ bis „es geht“.

Die mittels einer Skalierung erhobenen Antworten auf verschiedene Items wurden einer Faktorenanalyse unterzogen. Für die Fragen zum Hören und Verstehen in verschiedenen Situationen ermittelten wir durch die Berechnung der Differenz der Ratings für den Fall mit und ohne Hörgerät ein Maß für die Verbesserung durch das Hörgerät. Die Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse mit anschließender Varimaxrotation führte zur Extraktion von drei Faktoren, die wir als „Verbesserungsfaktor“, als „Zufriedenheitsfaktor“ und als „Belastungsfaktor“ interpretieren. Dieses Ergebnis ist insofern erstaunlich, da wir bisher davon ausgegangen sind, daß die Zufriedenheit mit dem Hörgerät überwiegend von dessen Verbesserungsleistung abhängt. Auf dem Zufriedenheitsfaktor laden jedoch die Items zur Verbesserung durch das Hörgerät nur sehr geringfügig. Stattdessen wird dieser Faktor von Items zum Tragen und Zurechtkommen mit dem Gerät sowie auch vom Zeitraum der Gewöhnung an das Gerät und natürlich der Zufriedenheit mit dem Hörgerät geprägt. Tab.1 gibt die Faktorlösung wieder.

Tab. 1 Faktorladungen der einzelnen Items auf den drei Faktoren

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
Verbesserung des Stimmenerkennens mit Hörgerät	,77428	,18721	,02776
Verbesserung der Klangqualität mit Hörgerät	,74667	,13947	-,04322
Verbesserung des Hörens von Vögeln mit Hörgerät	,69709	,15795	-,02136
Verbesserung des Verstehens in Ruhe mit Hörgerät	,68400	,28271	-,13282
Verbesserung des Richtungshörens mit Hörgerät	,66202	,05190	-,00109
Verbesserung des Verstehens in Lärm mit Hörgerät	,63901	,15507	,12763
Verbesserung beim Telefonieren mit Hörgerät	,60398	,08790	,02976
Alter des Schwerhörigen	-,31153	-,01636	,01733
Hilfe durch das Hörgerät	,36262	,75426	-,04729
Zufriedenheit mit dem Hörgerät	,29544	,71170	,26581
Tragedauer des Hörgeräts	,22209	,69466	-,20926
Zurechtkommen mit dem Hörgerät	,23313	,57647	,14869
Zeitraum der Gewöhnung an das Hörgerät	,02943	-,52730	,06331
Anstrengung beim Tragen des Hörgeräts	-,18557	-,51991	-,33644
Peinlichkeit beim öffentlichen Tragen des Hörgeräts	,00663	-,47571	-,08088
Subjektive Belastung durch die Hörprobleme	-,10621	,02820	,77176
Subjektive Stärke der Hörprobleme	-,26209	-,16549	,70061
Häufigkeit von Rückkopplungspfeifen	,08068	,22806	,56474
Häufigkeit von starker Lärmbelastung	,08833	,03854	,41227

Das Ergebnis der Faktorenanalyse weist darauf hin, daß die Zufriedenheit eines Hörgeräteträgers mit seinem Gerät nicht aus der tatsächlich erzielten Verbesserung des Hörens und Verstehens erschlossen werden kann. Vielmehr spielen Aspekte des Umgangs mit dem Hörgerät eine bedeutende Rolle. Dies sind Bereiche, die man gezielt durch entsprechende Vorbereitungs- und Trainingsmaßnahmen beeinflussen könnte.

Die Auswertung der uns mitgeteilten Verbesserungsvorschläge an die Hörgerätehersteller sieht wie folgt aus: 59 % wünschen sich ein Gerät, das äußerlich weniger auffällt. Dies entspricht auch dem Trend der Hörgeräteindustrie hin zu Geräten, die im Ohrkanal plaziert werden oder in Zukunft vielleicht sogar direkt auf dem Trommelfell. Zudem möchten 56,7 %, daß das Hörgerät modischer gestaltet wird. Dies ist sicherlich ein Aspekt, der von Bedeutung ist, wenn es darum geht, es dem Schwerhörigen angenehmer zu machen, sein Gerät in der Öffentlichkeit zu tragen. Besonders wichtig ist jedoch die Verbesserung des Verstehens in lauter Umgebung. Insgesamt wünschen sich 87,1%, daß hier ein Fortschritt erzielt wird. Der Bedarf einer Verbesserung des Verstehens in Ruhe ist mit 62,4 % bei weitem nicht so hoch. Eine bessere Klangqualität erhoffen sich zukünftig 71,8%. Damit kommt zum Ausdruck, daß eine Rehabilitation der Schwerhörigkeit durch ein Hörgerät nicht nur an dem Kriterium des Sprachverstehens in Ruhe ausgerichtet werden sollte. Daß selbst bei schlechter Klangqualität eine hohe Verständlichkeit erzielt werden kann, ist hinreichend durch das Telefonieren bekannt. Wenn wir uns jedoch vorstellen, den ganzen Tag so hören zu müssen, wird der Wunsch nach einem besseren Klang sofort einsichtig. Verhältnismäßig niedrig ist der Verbesserungsbedarf (41,6 %) für einen einfacheren Batteriewechsel. Mehr Probleme bereitet die Bedienung des Lautstärkereglers. 64,8 % hätten hier gerne eine bedienerfreundlichere Lösung. Dies wäre natürlich durch eine

Fernbedienung zu erzielen, aber interessanterweise möchten 58,7 % nicht, daß ihr Hörgerät mit einer Fernbedienung ausgestattet ist. Diese Zahl entspricht genau dem Wunsch nach geringerer Auffälligkeit. Möglicherweise wird die Fernbedienung wegen deren Auffälligkeit abgelehnt. Eine Veränderung des Ohrpaßstückes wird von 63,3 % erwünscht. Am häufigsten wurde die schlechte Belüftung des Ohrkanals und die dadurch entstehende Ansammlung von Feuchtigkeit beklagt. Bemängelt wurde auch die schlechte Hautverträglichkeit des Materials, ein schlechter Sitz des Ohrpaßstückes sowie das unangenehme Gefühl, „sich das Ohr zuzustopfen“. Eine verbesserte Reinigungsmöglichkeit des gesamten Gerätes wünschen sich 70,9 %.

IV - 4.4 Fazit

Der von uns konzipierte Fragebogen gibt im Vergleich zu bereits vorhandenen Instrumentarien zusätzlich Auskunft über auditive und nonauditive Bereiche, die von den Hörgeräteträgern als verbesserungsbedürftig empfunden werden. Auffallend ist dabei auf der auditiven Seite der häufig genannte Wunsch nach einer Verbesserung der Klangqualität des Geräts sowie nach besserem Verstehen bei Hintergrundgeräuschen. Auf nonauditiver Seite wird eine Verbesserung des Ohrpaßstückes und eine geringere Auffälligkeit bzw. eine modischere Gestaltung des Hörgeräts gewünscht. Die Ergebnisse der Faktorenanalyse weisen darauf hin, daß die Zufriedenheit mit dem Hörgerät nicht aus der Verbesserungsleistung erschlossen werden kann, sondern einen eigenen Bereich darstellt.

Danksagung

Der AOK Würzburg sei herzlich für die organisatorische Unterstützung und die harmonische Zusammenarbeit gedankt.

Das diesem Artikel zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (Förderkennzeichen 01VJ8903) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

IV - 4.5 Literatur

Berger, K.W., Abel, D., Hagberg, E., Puz, L., Varavvas, D., Weldele, F. (1982). *Successes and Problems of Hearing Aid Users*. 35. 26-30.

Brooks, D.N. (1985). *Factors relating to the under-use of postaural hearing aids*. *British Journal of Audiology*. 19. 211-217.

Holube, I. und Kollmeier, B. (1991). *Ein Fragebogen zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens: Erstellung der Fragen und Beziehung zum Tonschwellenaudiogramm*. *Audiologische Akustik*. 30. 48-64.

Holube, I. und Kollmeier, B. (1994). *Modifikation eines Fragebogens zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens und dessen Beziehung zur Sprachverständlichkeit in Ruhe und unter Störgeräusch*. *Audiologische Akustik*. 33. 22-35.

IFAV. (1994). *Hörgeräte zum Festbetrag. Zuzahlungsfreie Angebote und Zufriedenheit der Patienten, Ergebnisse einer empirischen Untersuchung im Auftrage des Bundesministeriums für Gesundheit*. Köln.

Neumann, Th. (1994). *Zuzahlungen für Hörgeräte und Zufriedenheit der Versicherten*. Die Betriebskrankenkasse 5/94. 304-312.

IV - 5 Über das Tragen von Hörhilfen

Ergebnisse einer epidemiologischen Studie

A. STOCK, E. FICHTL, W. KNOBLACH, M. BORETZKI UND O. HELLER

PSYCHOLOGISCHES INSTITUT DER UNIVERSITÄT WÜRZBURG, LEHRSTUHL III

IV - 5.1 Zusammenfassung

Vorgestellt werden Konzeption und Ergebnisse eines Fragebogens zur Erfassung der vom Hörgeräteträger erlebten Güte seiner Hörgeräteversorgung. Erfragt wurden personenspezifische Daten zu Genese und Verlauf der Schwerhörigkeit, die Güte des Hörens ohne und mit Hörgerät in verschiedenen Situationen sowie die Art der Hörgeräteversorgung und die Zufriedenheit mit dem Hörgerät. Darüber hinaus konnten die Befragten eigene Wünsche für ein verbessertes Hörgerät der Zukunft mitteilen.

In Zusammenarbeit mit der Allgemeinen Ortskrankenkasse (AOK) Würzburg wurden 3606 Hörgeräteträger angeschrieben und gebeten, sich bereitzuerklären, diesen Fragebogen zu beantworten. 743 Personen (20,6 %) forderten den Fragebogen an, 674 Personen sandten ihren Fragebogen ausgefüllt an uns zurück. Um sicher zu gehen, daß diejenigen Personen, die nicht geantwortet hatten, sich nicht von den anderen unterscheiden, wurde aus dieser Teilpopulation eine Zufallsstichprobe gezogen und mit einem Kurzfragebogen befragt. Insgesamt konnten so 844 Hörgeräteträger erfaßt werden.

Die Ergebnisse geben einerseits Auskunft über auditive und nonauditive Bereiche, die von den Hörgeräteträgern als verbesserungsbedürftig empfunden werden, und andererseits aber auch über marktwirtschaftlich wichtige Fragen wie beispielsweise den Zuwachs an binauralen Versorgungen innerhalb der letzten Jahre oder die prozentuale Anzahl von Fernbedienungen unter den Hörgeräteträgern.

Durch die Berechnung einer hierarchischen Konfigurationsfrequenzanalyse sowie einer multiplen logistischen Regression wurden wesentliche Merkmale ermittelt, die im Zusammenhang zur Zufriedenheit eines Schwerhörigen mit seinem Hörgerät stehen.

Schlüsselwörter: Zufriedenheit, Hörgeräteversorgung, Fragebogen

IV - 5.2 Abstract

The concept and results of a questionnaire designed to collect data regarding the perceived quality of a person's hearing aid are presented. Questions were asked about the cause and development of the hearing impairment, hearing ability in different situations with and without a hearing aid, as well as the kind of fitting and the overall satisfaction with the hearing aid. In addition, the people interviewed were given the opportunity to express their own wishes for an improved hearing aid in the future.

In cooperation with the Allgemeine Ortskrankenkasse (AOK) Würzburg (a health insurance company), 3606 hearing aid wearers were written to and asked to fill in the questionnaire. Of the 743 people (20.6%) who requested the questionnaire, 674 people filled it in and returned it to us. To

ensure that the people who did not respond do not differ systematically from the others, a random sample of these people was drawn and asked to fill in a short questionnaire. In this way data from a total of 844 hearing aid wearers were collected.

The results offer information about auditive and nonauditive aspects which hearing aid wearers consider to be in need of improvement, as well as economically important questions such as the increase in binaural fittings over the past few years or the percentage of remote controls.

Hierarchical configuration frequency analysis (cfa) as well as multiple logistic regression were used to establish the essential characteristics which are related to the hearing impaired person's satisfaction with his hearing aid.

Keywords: satisfaction, hearing aid supply, questionnaire

IV - 5.3 Einleitung

Für die in Bereichen der Audiometrie, Hörgeräteanpassung und Hörgeräteentwicklung Tätigen ist es gegenwärtig eine Frage, wie der Stand und die Qualität der Hörgeräteversorgung sind. Von besonderem Interesse ist dabei, ob die gerätespezifischen Leistungen und Trageeigenschaften den Bedürfnissen der Schwerhörigen gerecht werden oder ob und in welchen Bereichen ein Verbesserungsbedarf gegeben ist. Das hierbei anzusetzende Kriterium sollte eine größtmögliche Zufriedenheit des Schwerhörigen mit seiner Hörhilfe sein. Sie sollte einerseits zu einem möglichst vollständigen Ausgleich des Hörverlusts führen, aber andererseits auch leicht zu bedienen und angenehm zu tragen sein. Will man sich ein Bild über den Stand der Hörgeräteversorgung machen, so sind auditive und nonauditive Aspekte gleichermaßen zu berücksichtigen.

Zu dieser Thematik liegen eine Reihe von Fragebogen- und Interviewuntersuchungen vor, so zum Beispiel die Studie von Kapteyn (1977), die den Einfluß psychosozialer Faktoren auf die Zufriedenheit mit dem Hörgerät beschreibt, die Erhebung von Berger et al. (1982), die unter anderem Auskunft gibt über Art und Häufigkeit des Auftretens von Situationen, die von Hörgeräteträgern als problematisch empfunden werden, die Befragung von Brooks (1985) nach Bedingungen, die zu Unzufriedenheit und seltener Benutzung des Hörgeräts führen, die Untersuchung von Chung und Stephens (1986), die die Faktoren beschreiben, welche einen Einfluß auf die Nutzung einer binauralen Hörgeräteversorgung haben und schließlich die für den amerikanischen Hörgerätemarkt äußerst umfangreichen Marktforschungsstudien von Koschkin (1991, 1992, 1993).

Auf deutscher Seite sind drei Untersuchungen aus neuerer Zeit zu erwähnen. Durch die Erhebung von Florin (1990) wurde Antwort auf die Frage gegeben, welche psychischen, sozialen und körperlichen Beeinträchtigungen mit einer Schwerhörigkeit einhergehen und wie diese durch eine frühzeitige Versorgung mit einem Hörgerät vermieden werden können.

Holube und Kollmeier (1991, 1994) haben Daten geliefert über den Zusammenhang zwischen subjektiver Einschätzung der Hörbeeinträchtigung und audiologischen Kennwerten.

Schließlich ermöglichen die Ergebnisse der Interviews mit Hörgeräteträgern durch das Institut für angewandte Verbraucherforschung e.V. (1994) unter anderem einen Vergleich der Zufriedenheit von Hörgeräteträgern mit Festbetrags- bzw. Zuzahlungsgeräten.

Unsere Intention, zu den vorhandenen Verfahren ein weiteres zu konzipieren und Daten zu erheben, liegt erstens darin begründet, daß die Ergebnisse der im angloamerikanischen Sprachraum

durchgeführten Erhebungen im Hinblick auf die zum Teil völlig verschiedenen Verkaufs- und Anpassungsstrategien nur eingeschränkt übertragen werden können. Zum zweiten läßt die rasante Weiterentwicklung der Hörgerätetechnologie epidemiologische Untersuchungen auf diesem Gebiet binnen kurzer Zeit veralten. Drittens liegt bisher zur Erfassung der Güte der Hörgeräteversorgung in Deutschland keine Erhebung vor, die innerhalb einer Befragung auditive und nonauditive Aspekte des Hörgerätragens erfaßt und darüber hinaus direkt gerätespezifische Verbesserungsvorschläge von Seiten der Schwerhörigen ermittelt. Ein Bedarf solcher Daten ist zu erwarten. Wir hoffen, mit der vorliegenden Untersuchung diese Lücke zu schließen.

IV - 5.4 Konzeption des Fragebogens

Der Fragebogenerstellung ging eine umfangreiche Literaturanalyse voraus. Aus insgesamt 16 Untersuchungen der Jahre 1964 bis 1990 wurde eine Liste von 96 Fragen zu 11 Themenbereichen erstellt. Die verwendeten Untersuchungen sind im Literaturverzeichnis aufgeführt. Parallel dazu haben wir aufgrund unserer inzwischen jahrelangen Erfahrung im Umgang mit Schwerhörigen eine eigene Fragensammlung erstellt. Beide Listen wurden miteinander abgeglichen. Der daraus entstandene Fragebogen besteht aus 49 Fragen, die überwiegend auf vier- bzw. fünfstufigen Skalen durch Ankreuzen zu beantworten waren.

Der im folgenden dargestellte Fragebogen ist in fünf Bereiche eingeteilt:

- a) Fragen zur Person. In diesem Block werden neben personenspezifischen Daten wie Geburtsdatum und Lebensumständen des Schwerhörigen auch Dauer, Verlauf, Ausprägungsgrad und mögliche Verursachung der Schwerhörigkeit erfragt. Darüber hinaus soll die globale Zufriedenheit mit dem Hörgerät und die durch das Hörgerät erfahrene Hilfe erfaßt werden. Mit der letzten Frage dieses Blocks nach dem allgemeinen Gesundheitszustand soll eine mögliche Moderatorvariable registriert werden, die beispielsweise Einfluß auf das Zufriedenheitsurteil haben könnte.
- b) Bei den Fragen zum Gehör geht es uns darum, daß der Schwerhörige mitteilt, wie er in verschiedenen Situationen **ohne** Hörgerät zurechtkommt. Hierbei haben wir zum einen, wie in vielen anderen Untersuchungen auch, nach den Bereichen „Hören in Ruhe“, „Hören in Gesellschaft“, „Hören am Telefon“ und „Richtungshören“ gefragt. Zum anderen haben wir Fragen gestellt, die Aussagen über die erlebte Klangqualität liefern („Wie gut klingt für Sie ohne Hörgerät Musik?“) bzw. Aufschluß darüber geben sollen, wie gut hochfrequente Geräusche, so zum Beispiel das Vogelgezwitscher, gehört werden.
- c) Der dritte Fragenblock erfaßt die Art der Hörgeräteversorgung, das Zurechtkommen im Umgang mit dem Hörgerät, die Tragedauer des Hörgeräts, den Zeitraum der Gewöhnung an das Gerät, den verschreibenden Arzt und den anpassenden Akustiker und schließlich, wie peinlich das Tragen des Geräts in der Öffentlichkeit empfunden wird.
- d) In dem Bereich Fragen zum Hören **mit** Hörgerät werden dieselben Fragen gestellt wie unter b. Dadurch wird ein direkter Vergleich und somit die Bestimmung der auditiven Verbesserung mit Hörgerät möglich.
- e) In dem letzten Teil des Fragebogens hatten die Hörgeräträger die Möglichkeit, ihre Verbesserungswünsche mitzuteilen. Dazu hatten wir bereits einige Bereiche vorgegeben, zu denen wir immer wieder Klagen von Hörgeräträgern gehört hatten. Hierbei wurde nur nach Zustimmung bzw. Ablehnung zu einer Verbesserung in diesen Bereichen gefragt, woraus sich später über die Häufigkeiten der entsprechenden Antworten eine Rangliste erstellen ließ. Zusätzlich hatten die Befragten Gelegenheit, in offener Form eigene weitere Vorschläge mitzuteilen.

Fragen zur Person

CODE:

- 1) **Geburtsdatum:** _____
- 2) **Wie lange haben Sie schon Hörprobleme:** ca. _____ Jahre
- 3) **Wie haben sich Ihre Hörprobleme entwickelt:**
Verlauf der Verschlechterung: langsam schnell stufenweise
Sind Ihnen Ursachen bekannt: Krankheit Lärm Unfall
- 4) **Leben Sie:** alleine mit der Familie mit anderen Personen
- 5) **Waren oder sind Sie starkem Lärm ausgesetzt:**
 sehr oft oft gelegentlich selten nie
- 6) **Wie stark sind Ihre Hörprobleme:**
 sehr stark stark es geht schwach sehr schwach
- 7) **Sind Sie auf einem Ohr taub oder fast taub:**
 links (fast) taub nein rechts (fast) taub
- 8) **Wie stark werden Sie durch Ihre Hörprobleme belastet:**
 sehr stark stark deutlich ein wenig gar nicht
- 9) **Wie hilfreich ist für Sie Ihr Hörgerät:**
 sehr hilfreich eher hilfreich weniger hilfreich nicht sehr hilfreich
- 10) **Wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Hörgerät:**
 sehr zufrieden eher zufrieden eher unzufrieden sehr unzufrieden
- 11) **Wie ist Ihr allgemeiner Gesundheitszustand:**
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht

Fragen zu Ihrem Gehör

- 12) **Wie gut verstehen Sie *ohne* Hörgerät, wenn Sie sich *in ruhiger Umgebung* mit jemandem unterhalten:**
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 13) **Wie gut verstehen Sie *ohne* Hörgerät, wenn Sie sich *in einer größeren Gesellschaft* mit jemandem unterhalten:**
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 14) **Wie gut können Sie sich *ohne* Hörgerät am Telefon verständigen:**
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 15) **Wie gut können Sie *ohne* Hörgerät einen Bekannten an seiner Stimme erkennen:**
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 16) **Wie gut klingt für Sie *ohne* Hörgerät Musik:**
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 17) **Wie gut können Sie *ohne* Hörgerät Vogelgezwitscher z.B. im Park oder im Wald hören:**
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 18) **Wie oft bemerken Sie *ohne* Hörgerät, daß andere Personen zu undeutlich sprechen:**
 sehr oft oft gelegentlich selten nie
- 19) **Wie oft kommt es vor, daß Sie *ohne* Hörgerät erschrecken, weil Sie jemanden zu spät gehört haben:**
 sehr oft oft gelegentlich selten nie
- 20) **Sie hören eine Fahrradklingel oder Autohupe; wie gut können Sie *ohne* Hörgerät die Richtung angeben, aus der das Geräusch kommt:**
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht

Fragen zum Hörgerät

- 21) **Wie sieht Ihre Hörgerätversorgung aus** (Mehrfachantworten sind möglich):
- | | | |
|---|---|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Gerät hinter dem Ohr (HdO) | <input type="checkbox"/> ohne Ohrpaßstück | <input type="checkbox"/> beidohrig |
| <input type="checkbox"/> Gerät im Ohr (IdO) | <input type="checkbox"/> mit Ohrpaßstück | <input type="checkbox"/> links |
| <input type="checkbox"/> Hörbrille | <input type="checkbox"/> ohne Bohrung | <input type="checkbox"/> rechts |
| <input type="checkbox"/> Knochenleitungsgerät | <input type="checkbox"/> mit Bohrung | |
| <input type="checkbox"/> Taschengerät | | |
- 22) **Ist Ihr Hörgerät mit einer Fernbedienung ausgestattet?** ja nein
- 23) **Wie kommen Sie mit Ihrem Hörgerät zurecht** (Auf- und Absetzen, Einstellen, Batteriewechsel):
- sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 24) **Wie oft bemerken Sie oder andere Rückkopplungspfeifen bei Ihrem Hörgerät:**
- sehr oft oft gelegentlich selten nie
- 25) **Nach wieviel Tagen müssen Sie in der Regel die Batterien wechseln:** ca. _____ Tage.
- 26) **Wie oft bemerken Sie, daß das Tragen des Hörgeräts Sie anstrengt:**
- sehr oft oft gelegentlich selten nie
- 27) **Angenommen, Ihr Hörgerät ist 14 Tage in der Reparatur, wie kämen Sie in dieser Zeit ohne Hörgerät zurecht?**
- ganz gut gut es geht schlecht ganz schlecht
- 28) **Wie oft nehmen Sie den Kundendienst beim Akustiker in Anspruch:** ca. ____ im Jahr.
- 29) **Wieviele Tage in der Woche tragen Sie Ihr Hörgerät:** ca. _____ Tage pro Woche.
- 30) **Wieviele Stunden pro Tag tragen Sie Ihr Hörgerät:** ca. _____ Stunden pro Tag.
- 31) **Welcher Arzt hat das Hörgerät verschrieben:** _____
- 32) **Welcher Akustiker hat das Hörgerät angepaßt:** _____
- 33) **Wie lange besitzen Sie Ihr derzeitiges Hörgerät:** ca. _____ Jahre.
- 34) **Ihr wievielles Hörgerät ist Ihr derzeitiges Hörgerät:** _____.
- 35) **Hatten Sie Probleme mit der Gewöhnung an das Hörgerät?** ja nein
- 35a) **Wie lange hat es gedauert, bis Sie sich an Ihr Hörgerät gewöhnt hatten:**
ca. _____ Monate.
- 36) **Ist es Ihnen peinlich, Ihr Hörgerät in der Öffentlichkeit zu tragen?**
- sehr peinlich peinlich ein wenig peinlich macht mir nichts aus

Fragen zum Hören mit Hörgerät

- 37) **Wie gut verstehen Sie mit Hörgerät, wenn Sie sich in ruhiger Umgebung mit jemandem unterhalten:**
- sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 38) **Wie gut verstehen Sie mit Hörgerät, wenn Sie sich in einer größeren Gesellschaft mit jemandem unterhalten:**
- sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 39) **Wie gut können Sie sich mit Hörgerät am Telefon verständigen:**
- sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 40) **Wie gut können Sie mit Hörgerät einen Bekannten an seiner Stimme erkennen:**
- sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 41) **Wie gut klingt für Sie mit Hörgerät Musik:**
- sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht

- 42) Wie gut können Sie *mit* Hörgerät Vogelgezwitscher z.B. im Park oder im Wald hören:
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 43) Wie oft bemerken Sie *mit* Hörgerät, daß andere Personen zu undeutlich sprechen:
 sehr oft oft gelegentlich selten nie
- 44) Wie oft kommt es vor, daß Sie *mit* Hörgerät erschrecken, weil Sie jemanden zu spät gehört haben:
 sehr oft oft gelegentlich selten nie
- 45) Sie hören eine Fahrradklingel oder Autohupe; wie gut können Sie *mit* Hörgerät die Richtung angeben, aus der das Geräusch kommt:
 sehr gut gut es geht schlecht sehr schlecht
- 46) Halten Sie es für notwendig, daß wir die Einstellung Ihres Hörgerätes überprüfen?
 ja nein

Vorschläge an die Hörgerätehersteller

- 47) Das Hörgerät sollte weniger auffallen! ja nein
- 48) Das Hörgerät sollte modischer, etwa im Sinne der heutigen gutaussehenden Brillen, gestaltet werden!
 ja nein
- 49) Nach meiner Erfahrung sollte beim Hörgerät verbessert werden:
- | | | |
|---|-----------------------------|-------------------------------|
| Verstehen von Sprache in Ruhe: | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |
| Verstehen in lauter Umgebung: | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |
| bessere Musikübertragung: | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |
| besserer Klang: | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |
| geringerer Batterieverbrauch: | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |
| Hörgerät möglichst mit Fernbedienung: | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |
| einfacherer Batteriewechsel: | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |
| einfachere Bedienung des Lautstärkereglers: | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |
| das Ohrpaßstück: | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |
| bessere Reinigungsmöglichkeit: | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein |

Weitere Vorschläge: _____

IV - 5.5 Population und Stichprobenumfang

Durch die Zusammenarbeit mit der AOK Würzburg stand uns eine Population von 3606 Hörgeräteträgern aus dem Raum Würzburg-Unterfranken zur Verfügung, die innerhalb der letzten fünf Jahre eine Neu- oder Ersatzversorgung mit einem Hörgerät erhalten hatten. Aus Gründen des Datenschutzes wurde die Gesamtpopulation von der AOK Würzburg angeschrieben und gebeten, an unserer Befragung teilzunehmen. Bei Interesse konnten uns die Versicherten in Form einer Antwortkarte ihre Anschrift mitteilen und bekamen dann umgehend den Fragebogen zugeschickt. Von diesem Angebot machten 743 Personen (20,6%) Gebrauch, die im folgenden als Responder bezeichnet werden. Von diesen Respondern sandten uns 674 Personen den ausgefüllten Fragebogen zurück, was einer Rücklaufquote von 90,7% entspricht. Um sicher zu sein, daß die Responder nicht eine spezifische Teilgruppierung der Gesamtpopulation sind, zogen wir aus der Gruppe derjenigen Personen, die auf das erste Anschreiben der AOK nicht geantwortet hatten - im folgenden als Nonresponder bezeichnet - eine Zufallsstichprobe von 336 Personen und ließen diese durch die AOK erneut mit einer auf sechs Fragen reduzierten Fragebogenpostkarte anschreiben. Auf dieser Postkarte befanden sich neben der Frage nach dem Alter auch noch die Fragen Nr. 10, 13, 25, 29, 30 und 38 des

obigen Fragebogens. Die Rücklaufquote betrug dabei 50,6%. Damit ist zumindest in Teilbereichen eine Überprüfung der Verallgemeinerbarkeit der Responderdaten gewährleistet. Insgesamt wurden somit 844 Hörgeräteträger befragt.

IV - 5.6 Ergebnisse Teil I - Deskriptive Auswertung der Daten

IV - 5.6.1 Vergleich von Respondern und Nonrespondern

Von besonderem Interesse ist zuerst ein Vergleich der Ergebnisse von Respondern und Nonrespondern.

Abb. 1 zeigt die fast identischen Altersverteilungen, die wiederum auch der Altersverteilung der Gesamtpopulation entsprechen.

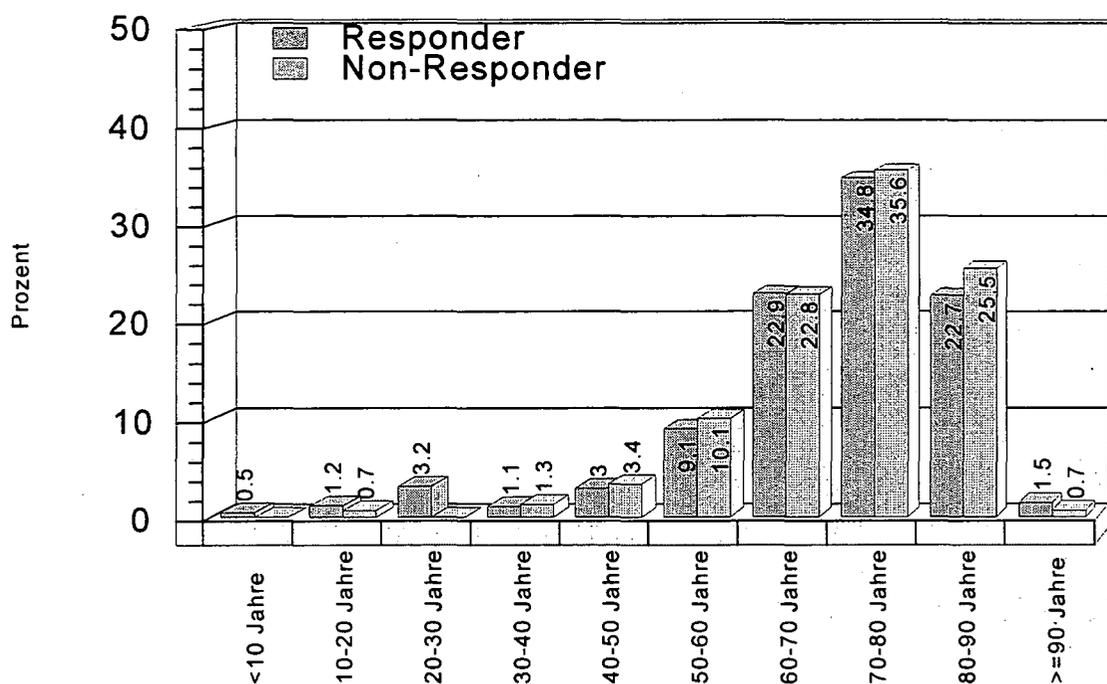


Abb. 1. Vergleich der Altersverteilungen von Respondern und Nonrespondern.

Über 70% der befragten Hörgeräteträger sind älter als 60 Jahre. Diese hohe Zahl darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß ein Hörverlust häufig schon in jüngerem Lebensalter entsteht. In der Regel vergehen einige Jahre zwischen den ersten Anzeichen einer Schwerhörigkeit bis zur Verschreibung und Anpassung eines Hörgeräts. Schmitt und Dressen (1992) geben in ihrem „Marktreport Hörgeräte“ einen mittleren Zeitraum von 13 Jahren an, der von der ersten Erfahrung „Ich höre schlecht“ bis zum Aufsuchen eines HNO-Arztes vergeht.

Die Geschlechtsverteilungen beider Gruppen differieren nicht. 50,25% der Befragten sind weiblich und 49,75% männlich. Bezüglich der Tragedauer der Hörgeräte ist festzustellen, daß die Geräte in der Gruppe der Responder im Schnitt um 9 Stunden pro Woche länger getragen werden als in der Gruppe der Nonresponder.

Der Vergleich beider Gruppen bezüglich der Fragen: Hören mit und ohne Hörgerät in größerer Gesellschaft, gemessen auf einer fünfstufigen Skala mit den Verbalkategorien „sehr gut“, „gut“, „es geht“, „schlecht“ und „sehr schlecht“ zeigte, daß die Nonresponder beim Hören in größerer

Gesellschaft ohne Hörgerät seltener die Kategorien „schlecht“ und „sehr schlecht“ benutzen als die Responder (Abb. 2 und 3). Es ist also von einem geringeren Hörverlust bei den Nonrespondern auszugehen. Beim Hören mit Hörgerät kommen diese auch besser zurecht als die Responder, was sich anhand der häufigeren Nennung der Kategorien „gut“ und „sehr gut“ zeigt.

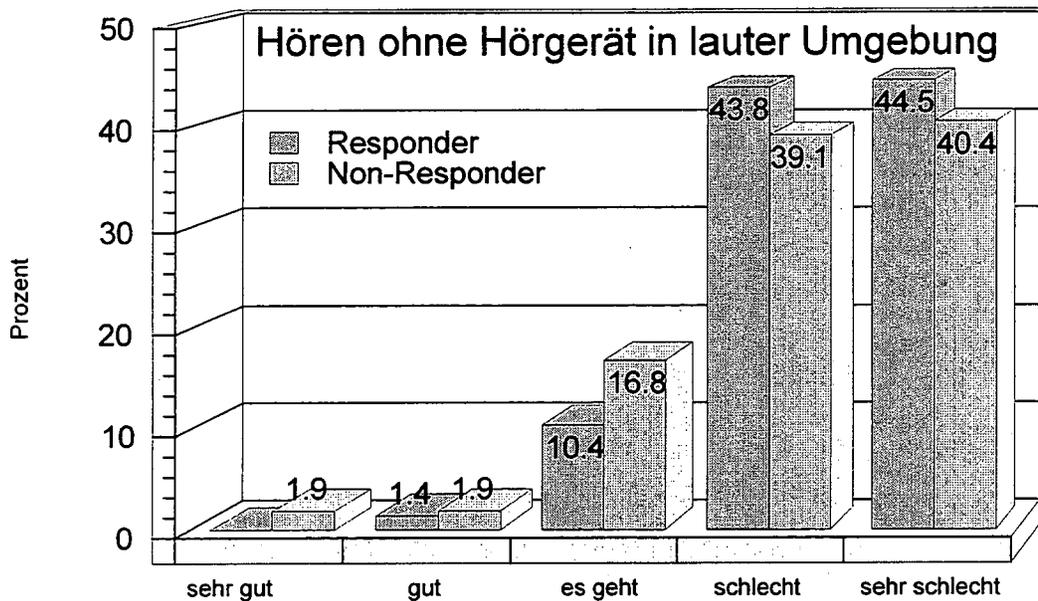


Abb.2. Vergleich von Respondern und Nonrespondern bezüglich der Frage zum Hören ohne Hörgerät in lauter Umgebung.

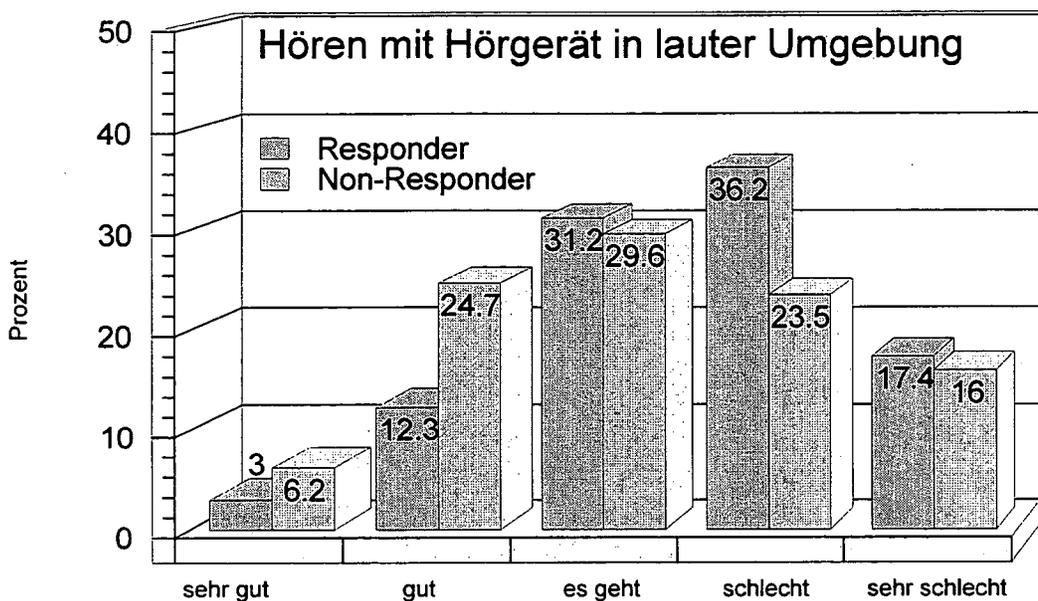


Abb.3. Vergleich von Respondern und Nonrespondern bezüglich der Frage zum Hören mit Hörgerät in lauter Umgebung.

Auf die direkte Frage: „Wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Hörgerät?“ gaben 27,7% der Responder und 20,5% der Nonresponder an, daß sie sehr zufrieden sind. Als eher zufrieden äußerten sich 41,9% der Responder und 46,6% der Nonresponder. Die Kategorie eher unzufrieden kreuzten 25,0% der

Responder und 26,1% der Nonresponder an. Sehr unzufrieden waren 5,4% Responder und 6,8% Nonresponder. Faßt man die vier Antwortmöglichkeiten in Zweiergruppen zusammen, so zeigt sich, daß in beiden Gruppen jeweils knapp 70% sehr zufrieden bzw. eher zufrieden sind (Abb.4).

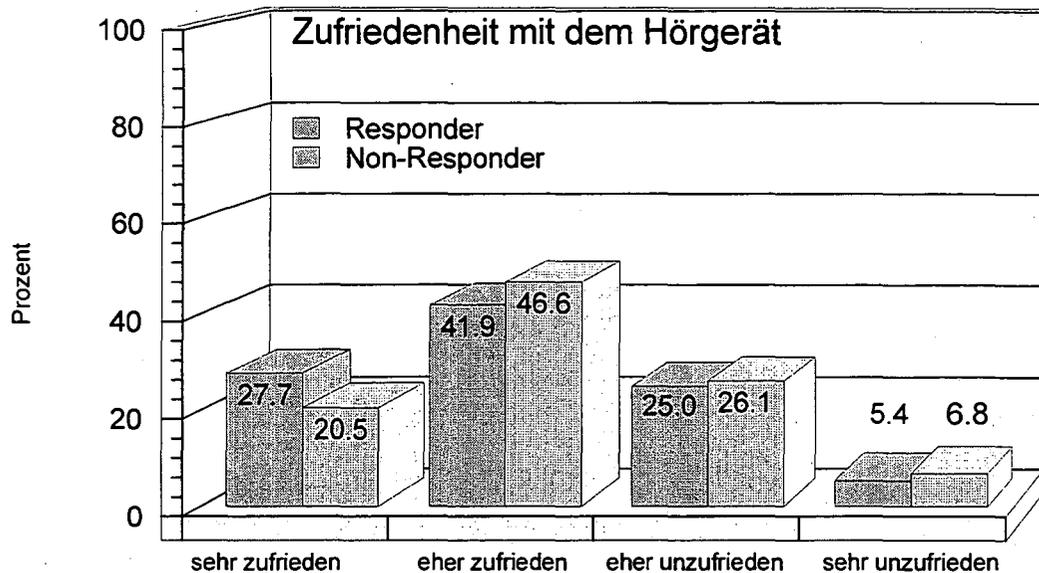


Abb. 4. Vergleich von Respondern und Nonrespondern bezüglich der Zufriedenheit mit dem Hörgerät

Zusammenfassend ist festzustellen, daß bei denjenigen, die spontan geantwortet haben (Responder) ein etwas schlechteres Hörvermögen ohne Gerät vorliegt sowie eine etwas höhere Zufriedenheit mit dem Gerät. Diese Unterschiede zur Gruppe der Nonresponder sind jedoch geringfügig und werden statistisch nicht signifikant.

In Anbetracht des Umfangs des Datensatzes ist es nicht möglich, an dieser Stelle alle Auswertungsergebnisse mitzuteilen. (Sie werden jedoch als Anhang zu dem Abschlußbericht des Forschungsprojekts: „Hilfen für Hörgeschädigte“ Förderkennzeichen Nr. 010J8903/0 zur Verfügung stehen.) Die im folgenden dargestellte Auswahl der Ergebnisse beruht ausschließlich auf dem Datensatz der Responder (N=674).

IV - 5.6.2 Ergebnisse zu Bereich A des Fragebogens: Fragen zur Person

Die Fragen zu Genese, Verlauf und Dauer der Hörproblematik erbrachten folgende Ergebnisse: für die Dauer der Hörprobleme lag der Modus in der Kategorie „bis 10 Jahre“ (Abb. 5). Der Verlauf der Schwerhörigkeit wurde von 73,6 % als langsam beschrieben. Einen schnellen Verlauf gaben 9,8 % an. Als stufenweise progredient schilderten ihn 15,1 %.

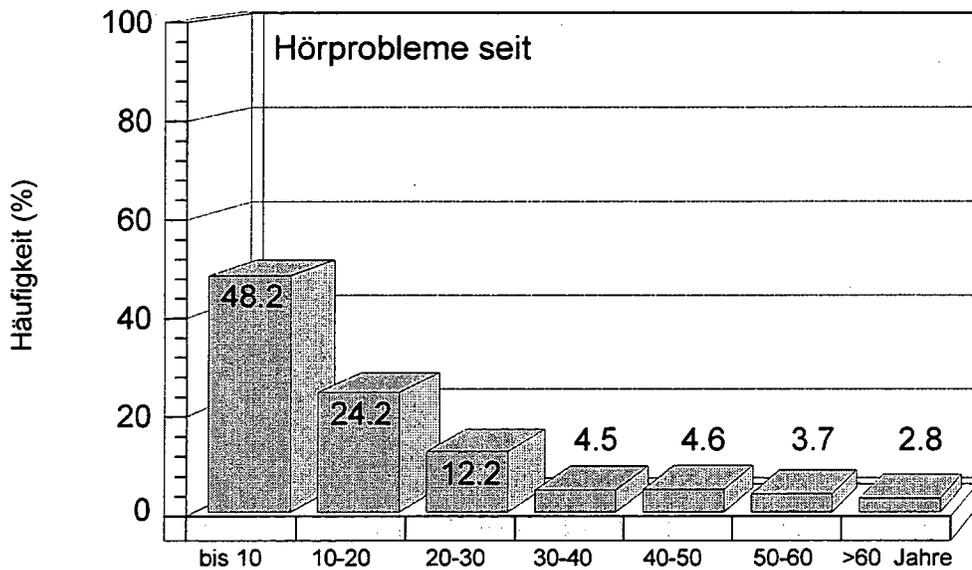


Abb. 5. Angaben der Befragten über die Länge des Zeitraums ihrer Hörprobleme

Diese Ergebnisse passen gut mit den Angaben der Befragten über die mögliche Verursachung ihrer Schwerhörigkeit zusammen (Abb. 6)

Hierbei gaben insgesamt 27,2% an, daß die Ursachen in Krankheit und/oder Unfall zu sehen sind. In der Regel geht eine solche Verursachung mit einem schnellen beziehungsweise stufenweisen Verlauf einher, wie er von zusammengenommen 24,9% geschildert wird. Bei einem langsamen Verlauf (73,6%) sind die Ursachen aller Wahrscheinlichkeit nach in den Folgen einer erhöhten Lärmbelastung im Verlaufe des Lebens bzw. in einer sich mit dem Alter entwickelnden Schwerhörigkeit zu sehen. Ist dies der Fall, so wird der Befragte Lärm als Ursache angeben (20,9%) oder keine Angaben zu einer Verursachung machen (49,6%). Zusammengerechnet ergibt dies mit 70,5% einen Wert, welcher der Häufigkeit der Nennung eines langsamen Verlaufs gut entspricht.

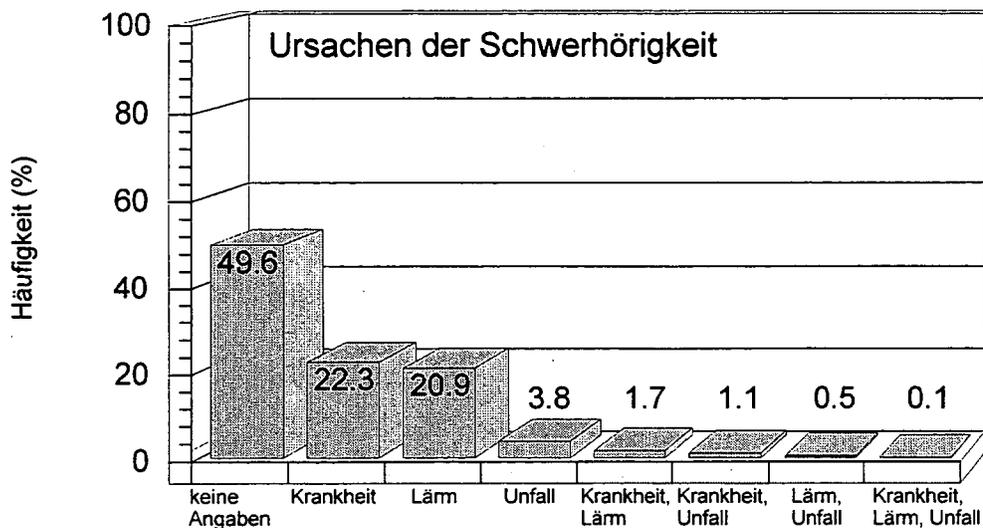


Abb. 6. Angaben der Befragten zu den Ursachen ihrer Schwerhörigkeit. Wenn keine Angaben gemacht wurden, gehen wir davon aus, daß es sich um einen langsamen Verlauf der Schwerhörigkeit handelt, der mit keinem ursächlichen Ereignis in Verbindung zu bringen ist.

Von den Befragten gaben 69% an, daß sie mit der Familie oder mit anderen Personen zusammen leben. Diese Gruppe teilt eine höhere subjektive Lärmbelastung mit als die 31% allein lebenden Hörgeräteträger. Sie hat jedoch weniger Probleme mit der Handhabung und Bedienung der Geräte.

Die Belastungen, die durch die Hörprobleme entstehen, werden von den Schwerhörigen wie folgt beschrieben: 12,1% geben an, sehr stark belastet zu sein. Eine starke Belastung wird von 37,6% und eine immer noch deutliche Belastung von 33,6% mitgeteilt. Ein wenig belastet sind 15,9% und über keine Belastung berichten 1,4%.

Die Ergebnisse bezüglich der Fragen nach der Zufriedenheit mit dem Hörgerät und der durch das Hörgerät erlebten Hilfe (Abb. 4, Seite 9 und Abb.7) sind insofern erfreulich, als ca. 70% angeben, mit dem Gerät sehr zufrieden oder zufrieden zu sein, beziehungsweise es als sehr hilfreich oder hilfreich zu empfinden. Nur ein knappes Drittel erfährt eine geringe oder gar keine Hilfe durch das Gerät und ist entsprechend eher unzufrieden oder sogar sehr unzufrieden.

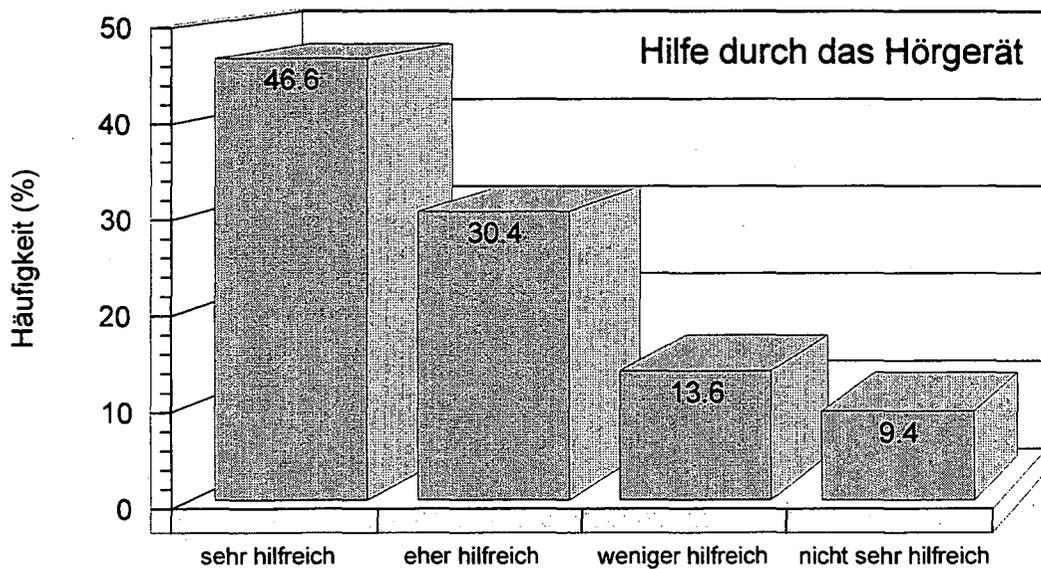


Abb. 7. Häufigkeitsverteilung der Angaben zur Hilfe, die das Hörgerät leistet.

Es besteht eine Reihe von Zusammenhängen zwischen nonauditiven Variablen und dem direkten Maß der Zufriedenheit mit dem Hörgerät, bzw. der durch das Hörgerät erlebten Hilfe (Tab.1).

Je schlechter der Schwerhörige mit der Bedienung des Gerätes zurecht kommt, je länger es gedauert hat, bis er sich an das Gerät gewöhnt hat und je mehr ihn das Tragen des Gerätes anstrengt, desto weniger erlebt er es als hilfreich und desto geringer ist seine Zufriedenheit. Die Unzufriedenheit hängt darüber hinaus mit der Häufigkeit von Rückkopplungspfeifen und der Peinlichkeit beim Tragen des Hörgerätes in der Öffentlichkeit zusammen.

Tab.1. Korrelationen und Signifikanzniveaus verschiedener Items mit der Zufriedenheit mit dem Hörgerät und mit der durch das Hörgerät erlebten Hilfe.

Korrelationen	Zurechtkommen mit dem Hörgerät	Zeitraum bis zur Gewöhnung an das Gerät	Anstrengung beim Tragen des Gerätes	Häufigkeit des Rückkopplungspfeiffens	Peinlichkeit beim Tragen in der Öffentlichkeit
Zufriedenheit mit dem Gerät	.465 p= ,000	-.342 p= ,000	-.409 p= ,000	-.318 p= ,000	-.251 p = ,000
Hilfe durch das Gerät	.411 p = ,000	-.342 p= ,000	-.350 p= ,000	-.130 p= ,001	-.247 p = ,000

IV - 5.6.3 Ergebnisse zu den Bereichen B und D: Verbesserung des Hörens in verschiedenen Situationen durch das Hörgerät

Auf fünfstufigen Kategorienskalen wurden die in der Tabelle 2 aufgelisteten Fragenbereiche gemessen. Die verbalen Bezeichnungen der Kategorien lauteten: „sehr gut“, „gut“, „es geht“, „schlecht“ und „sehr schlecht“ für das Hören in bestimmten Situationen bzw. „sehr oft“, „oft“, „gelegentlich“, „selten“, „nie“ für die Auftretenshäufigkeit von bestimmten Situationen. Die Antwortmöglichkeiten wurden von der jeweils positivsten bis zur negativsten durch die Zahlen von 1 bis 5 codiert. Tabelle 2 gibt die Mittelwerte (m) und Standardabweichungen (s) der Fragen zum Hören mit und ohne Hörgerät wieder. Die inferenzstatistische Prüfung auf Mittelwertsunterschiede (t-Test für abhängige Stichproben) ergab für alle Fragen eine sehr hohe Signifikanz.

Tab. 2. Mittelwerte (m), Standardabweichungen (s) und Differenz der Mittelwerte der Fragen zum Hören mit und ohne Hörgerät

	Hören mit Hörgerät		Hören ohne Hörgerät		Differenz
	m	s	m	s	
Hören in Ruhe	2,114	0,805	3,499	0,924	1,38
Hören in lauter Umgebung	3,528	1,010	4,314	0,711	0,79
Telefonieren	3,008	1,080	3,469	1,006	0,46
Erkennen von Stimmen	2,718	0,917	3,455	0,938	0,74
Klangqualität von Musik	2,532	0,879	3,403	0,966	0,87
Hören von Vogelgezwitscher	2,458	0,959	3,831	0,981	1,37
Undeutliches Sprechen anderer	2,565	0,908	2,232	1,178	0,33
Erschrecken durch Geräusche	3,407	1,022	2,747	1,188	0,66
Richtungshören	2,941	0,920	3,751	0,914	0,81

Die mittlere Verbesserung von Leistung und Qualität des Hörens liegt über alle neun Items gerechnet bei 0,82 Skalenteilen, also einer knappen Kategorie.

Beachtenswert ist auch, daß gutes Hören mit Hörgerät von den Schwerhörigen nur für die Situationen Hören in Ruhe und Hören von Vogelgezwitscher angegeben wird. In allen anderen Bereichen wird mit dem Hörgerät lediglich ein Hören erzielt, welches von den Befragten im günstigsten Fall als „es geht“ beschrieben wird. Damit wird deutlich, daß ein Hörgerät zwar hilfreich ist, daß dessen Leistung aber noch nicht ausreicht, um eine wirklich hohe Zufriedenheit bei den Trägern zu erzielen (siehe Abb. 4, 7).

IV - 5.6.4 Ergebnisse zu dem Bereich C: Art der Hörgeräteversorgung

Die Art der Hörgeräteversorgung verteilt sich so: 51,7% der 674 Responder haben ein HdO Gerät. Mit einem IdO-Gerät sind 29,6% versorgt. Eine Hörbrille wird von 15,9% getragen. Über ein Taschenggerät verfügen 2,4%, und nur 0,5% hatten ein Knochenleitungsgerät. Mit 55,5% waren über die Hälfte der Schwerhörigen binaural versorgt. Diese hohe Zahl steht im Widerspruch zu den Angaben von 20% binaural Versorgten durch die Studie des Instituts für angewandte Verbraucherschutz (1994). Der Widerspruch klärt sich jedoch auf, wenn berücksichtigt wird, daß die Daten der zitierten Studie 1992 erhoben worden waren. Unsere Studie umfaßt den Zeitraum von 1989 bis 1994. Über diese fünf Jahre hinweg stieg die Zahl aller Erstversorgungen im Mittel um 14,02% an. Die Zahl binauraler Erstversorgungen hingegen erfuhr ein durchschnittliches Wachstum von 24,59%. Dieses ist insbesondere auf die Jahre 93 und 94 zurückzuführen, in denen es Zuwächse an binauralen Erstversorgungen von durchschnittlich 45,5% gegeben hat. Über die Vorteile der binauralen Versorgung wird weiter unten noch berichtet werden. Insgesamt gaben nur 9,3% an, daß ihr Hörgerät mit einer Fernbedienung ausgestattet ist.

IV - 5.6.5 Handhabung, Rückkopplungspfeifen, Batteriewechselintervall und Tragedauer der Geräte

72,6% kommen mit der Handhabung ihres Hörgerätes gut oder sehr gut zurecht. Als schlecht beziehungsweise sehr schlecht wird sie von 7,4% geschildert. Wie bereits oben erwähnt, klagen besonders alleinlebende Hörgeräteträger über Probleme mit der Bedienbarkeit. Je schlechter der Schwerhörige mit der Handhabung des Gerätes zurechtkommt, desto peinlicher ist es ihm auch, das Gerät in der Öffentlichkeit zu tragen.

Betrachtet man die Zusammenhänge zwischen dem Zurechtkommen mit dem Gerät und den Antworten auf die Fragen zum Hören mit dem Hörgerät, dann findet sich generell ein signifikant negativer Zusammenhang. Wer also wenig Probleme mit der Handhabung seines Hörgeräts hat, der berichtet eine größere Verbesserungsleistungen beim Hören mit dem Hörgerät. Dies ließe sich zumindest zum Teil dadurch erklären, daß Probleme mit der Handhabung auch dazu führen, daß die Batterien seltener gewechselt werden, was sich wiederum auf die Leistungsfähigkeit des Gerätes auswirken kann. Ein H-Test nach Kruskal-Wallis mit der Gruppenvariablen „Zurechtkommen mit dem Hörgerät“ und der Testvariablen „Batteriewechselintervall“ erbrachte jedoch nur die Tendenz, daß Hörgeräteträger mit Handhabungsproblemen seltener die Batterien wechseln.

Analysiert man jedoch die Verbesserungswünsche der Hörgeräteträger als Testvariablen mit dem obigen Verfahren, dann ergeben sich hochsignifikante Ergebnisse bezüglich der Verbesserungswünsche: „Hörgerät möglichst mit Fernbedienung“, „einfachere Bedienung des Lautstärkereglers“ und „einfacherer Batteriewechsel“. In diesen Fällen ist es immer so, daß diejenigen

Hörgeräteträger, die Probleme mit der Handhabung des Geräts haben, signifikant häufiger die genannten Verbesserungswünsche angeben.

An dieser Stelle eröffnet sich auch die Möglichkeit, den in der Regel eher älteren Schwerhörigen mit ihrer häufig eingeschränkten motorischen Leistungsfähigkeit durch gezielte Trainingsmaßnahmen eine Hilfestellung zu geben. Es sollte von Seiten der Versicherungsträger überlegt werden, ob solche Trainingsmaßnahmen nicht automatisch mit der Erstverschreibung eines Hörgeräts angeboten und erstattet werden sollten. Zu bedenken ist auch, ob den in ihrer Motorik eingeschränkten Schwerhörigen aus medizinischen Gründen zusätzlich zum Hörgerät eine Fernbedienung finanziert werden sollte.

Ein Rückkopplungspfeifen des Gerätes ist nicht nur für den Hörgeschädigten unangenehm, sofern er es hört, sondern auch für seine Umwelt, die durch den Pfeifton belästigt werden kann. Durch die Formulierung der Frage: „Wie oft bemerken Sie oder andere Rückkopplungspfeifen bei Ihrem Hörgerät?“ sollten beide Aspekte berücksichtigt werden. Die Kategorien „sehr oft“ und „oft“ wurden von 32,6% der Hörgeräteträger angekreuzt. Gelegentlich ist es 38,7% aufgefallen und nur ein knappes Drittel (28,7%) gaben an, daß sie damit selten oder nie Probleme haben. Das Rückkopplungspfeifen ist ein technisches Problem. Abhilfe ist dadurch zu erzielen, daß der Abstand zwischen Mikrofon und Hörer maximiert wird. Beim HdO-Gerät ist dieser selbstverständlich größer als beim IdO-Gerät. Auch durch eine geschlossene Anpassung kann hier nochmals eine Verbesserung erzielt werden. Darüber hinaus gibt es von Seiten der Hörgerätehersteller Ansätze, digitale Rückkopplungsunterdrückungssysteme zu verwenden.

Batteriewechselintervalle geben Aufschluß darüber, wie intensiv ein Hörgerät genutzt wird. Natürlich kann über diesen Umweg nur ein grober Schätzwert der Nutzung ermittelt werden, denn je nach benötigter Verstärkung, Gerätetyp und Batterietyp ist ein Wechsel der Batterien früher oder später notwendig. Tabelle 3 zeigt die prozentualen Häufigkeiten für den Batteriewechsel in Wochenintervallen.

Tab. 3. Batteriewechselintervalle

1 Woche	2 Wochen	3 Wochen	4 Wochen	5 Wochen	6 Wochen
26,5%	53,1%	13,5%	2,5%	3,6%	0,8%

Daß 79,6% innerhalb von zwei Wochen die Batterien wechseln, läßt auf eine häufige Nutzung des Hörgeräts schließen. Aus unseren direkten Fragen zur Tragedauer haben wir die Anzahl der Stunden/Woche ermittelt, die die Hörgeräte getragen werden. Setzt man die Grenze der Vielnutzer bei mindestens sieben Stunden Tragedauer/Tag an, dann ergibt sich bei den direkten Fragen dazu ein Wert von 72,2% der Hörgeräteträger, die ihr Gerät sieben oder mehr Stunden je Tag tragen. Tabelle 4 gibt die gesamte Verteilung der Tragedauer wieder.

Tab. 4. Prozentuale Angaben der Tragedauer des Hörgeräts in Stunden pro Woche.

>=140h/w	120-140h/w	100-120h/w	80-100h/w	60-80h/w	40-60h/w	20-40h/w	0-20h/w
0,2%	2,1%	20,4%	24,4%	13,2%	11,9%	14,5%	13,4%

Das häufige Wechseln der Batterien sowie die hohen Werte für die Tragedauer der Geräte passen gut mit den Ergebnissen der Frage 27 zusammen. Hier sollte mitgeteilt werden, wie gut der Schwerhörige ohne Hörgerät zurecht käme, wenn dieses für einen Zeitraum von zwei Wochen in der Reparatur wäre. Mit 55,2% geben über die Hälfte der Schwerhörigen an, daß sie in diesem Zeitraum schlecht beziehungsweise ganz schlecht zurecht kämen. 34,8% teilen mit, daß es auch ohne Hörgerät einigermaßen ginge. Keine Probleme würde eine solche Situation nur 10% der Befragten bereiten, die meinen, daß sie in einem solche Fall gut oder sogar sehr gut zurecht kämen.

IV - 5.6.6 Hörgerätetragen in der Öffentlichkeit

In den alten Bundesländern sind schätzungsweise 11 Millionen Menschen schwerhörig. Hörgeräteträger gibt es jedoch nur ca. 1,5 Millionen. Ein Grund dafür, warum so viele Schwerhörige auf die Benutzung eines Hörgerätes verzichten, wird häufig in einer unzureichenden Aufgeschlossenheit der Betroffenen ihrer Schwerhörigkeit gegenüber gesehen. Auch stellen es sich viele Schwerhörige als peinlich vor, ein Hörgerät in der Öffentlichkeit zu tragen. Die von uns mit der Frage: „Ist es Ihnen peinlich, Ihr Hörgerät in der Öffentlichkeit zu tragen?“ befragten Hörgeräteträger gaben zu 74% an, daß ihnen dies nichts ausmache. Den übrigen 26% ist es etwas peinlich und einigen wenigen (2,3%) sogar sehr peinlich. Je peinlicher es einem Schwerhörigen ist, sein Hörgerät öffentlich zu tragen, desto schlechtere Werte teilt er auch für das Hören mit Hörgerät in den befragten verschiedenen Situationen mit. Verständlicherweise wünschen sich diese Schwerhörigen signifikant häufiger ein Hörgerät, das weniger auffällt oder zumindest modischer ist. Zu erwarten war auch, daß es eher die jüngeren Hörgeräteträger sind, die es als peinlich empfinden, ihr Gerät zu tragen. Dieses Peinlichkeitsgefühl wirkt sich auch auf die Zufriedenheit mit dem Hörgerät aus und ebenso auf die durch das Hörgerät erfahrene Hilfe. Beide Maße sinken mit zunehmender Peinlichkeit. Nachvollziehbar ist auch der Zusammenhang mit der Anstrengung beim Tragen des Hörgeräts. Dieses wird um so anstrengender empfunden, je peinlicher es dem Schwerhörigen ist, sich mit seinem Gerät in der Öffentlichkeit zu zeigen.

IV - 5.6.7 Ergebnisse zu dem Bereich E: Verbesserungswünsche von Seiten der Hörgeräteträger

Die Auswertung der uns mitgeteilten Verbesserungsvorschläge an die Hörgerätehersteller ergab folgendes: 59% wünschen sich ein Gerät, das äußerlich weniger auffällt. Dies entspricht dem Trend der Hörgeräteindustrie hin zu Geräten, die im Ohrkanal plaziert werden. Zudem möchten 56,7%, daß das Hörgerät modischer gestaltet wird. Nur scheinbar besteht bei diesen beiden Aussagen eine Diskrepanz. Sie löst sich auf, wenn man bedenkt, daß beide Aussagen beinhalten, daß das Hörgerätetragen in der Öffentlichkeit auf die eine oder andere Weise für den Schwerhörigen angenehmer und attraktiver gestaltet werden soll.

Besonders wichtig ist jedoch die Verbesserung des Verstehens in lauter Umgebung. Insgesamt wünschen sich 87,1%, daß hier ein Fortschritt erzielt wird. Der Bedarf einer Verbesserung des Verstehens in Ruhe ist mit 62,4% bei weitem nicht so hoch. Eine bessere Klangqualität erhoffen sich zukünftig 71,8%. Damit kommt zum Ausdruck, daß eine Rehabilitation der Schwerhörigkeit durch ein Hörgerät nicht nur an dem Kriterium des Sprachverstehens in Ruhe ausgerichtet werden sollte. Geringer ist der Verbesserungsbedarf (41,6%) für einen einfacheren Batteriewechsel. Mehr Probleme bereitet die Bedienung des Lautstärkereglers. 64,8% hätten hier gerne eine bedienerfreundlichere Lösung. Dies wäre natürlich durch eine Fernbedienung zu erzielen, aber interessanterweise möchten 58,7 % nicht, daß ihr Hörgerät mit einer Fernbedienung ausgestattet ist. Diese Zahl entspricht genau

der Häufigkeit des Wunsches nach geringerer Auffälligkeit. Möglicherweise wird die Fernbedienung wegen deren Auffälligkeit abgelehnt. Eine Veränderung des Ohrpaßstückes wird von 63,3% erwünscht. Am häufigsten wurde die schlechte Belüftung des Ohrkanals und die dadurch entstehende Ansammlung von Feuchtigkeit beklagt. Bemängelt wurde auch die schlechte Hautverträglichkeit des Materials, ein schlechter Sitz des Ohrpaßstückes sowie das unangenehme Gefühl, „sich das Ohr zuzustopfen“. Eine verbesserte Reinigungsmöglichkeit des gesamten Gerätes wünschen sich 70,9%. Tabelle 5 zeigt die Verbesserungswünsche als Rangliste im Überblick.

Tab. 5. Rangliste der Verbesserungswünsche an die Hörgerätehersteller.

„Nach meiner Erfahrung sollte beim Hörgerät verbessert werden.“	Befürwortung in %	Ablehnung in %
Verstehen von Sprache in lauter Umgebung	87.1	12.9
Besserer Klang des Hörgeräts	71.8	28.2
Bessere Reinigungsmöglichkeit des Hörgeräts	70.9	29.1
Einfachere Bedienung des Lautstärkereglers	64.8	35.2
Bessere Musikübertragung	64.1	35.9
Verbesserung des Ohrpaßstückes	63.6	36.7
Besseres Verstehen von Sprache in Ruhe	62.4	37.6
Geringere Auffälligkeit des Hörgeräts	59.0	41.0
Das Hörgerät sollte modischer sein	56.7	43.3
Einfacherer Batteriewechsel	41.6	58.4
Ausstattung mit einer Fernbedienung	41.3	58.7

IV - 5.6.8 Zuzahlungen für Hörgeräte durch die Schwerhörigen

Nach den Kosten der Hörgeräteversorgung brauchten wir die Schwerhörigen nicht zu befragen. Die AOK-Würzburg stellte uns ohne die Möglichkeit einer Personenzuordnung die jeweiligen Gesamtkosten für jeden einzelnen der 3606 Hörgeräteträger ihrer Datei zur Verfügung. Unter Berücksichtigung eines Festbetrags von 1200 DM bei monauraler und 2400 DM bei binauraler Versorgung können wir so verlässliche Werte für die von den Schwerhörigen geleisteten Zuzahlungen angeben (Abb. 8).

Nur 40% der Schwerhörigen können anscheinend mit einem Gerät zum Festbetrag adäquat versorgt werden. Der überwiegende Rest zahlte zu seiner Hörgeräteversorgung zu. Fast 30% der Befragten mußten mehr als 800 DM aus eigener Tasche bezahlen.

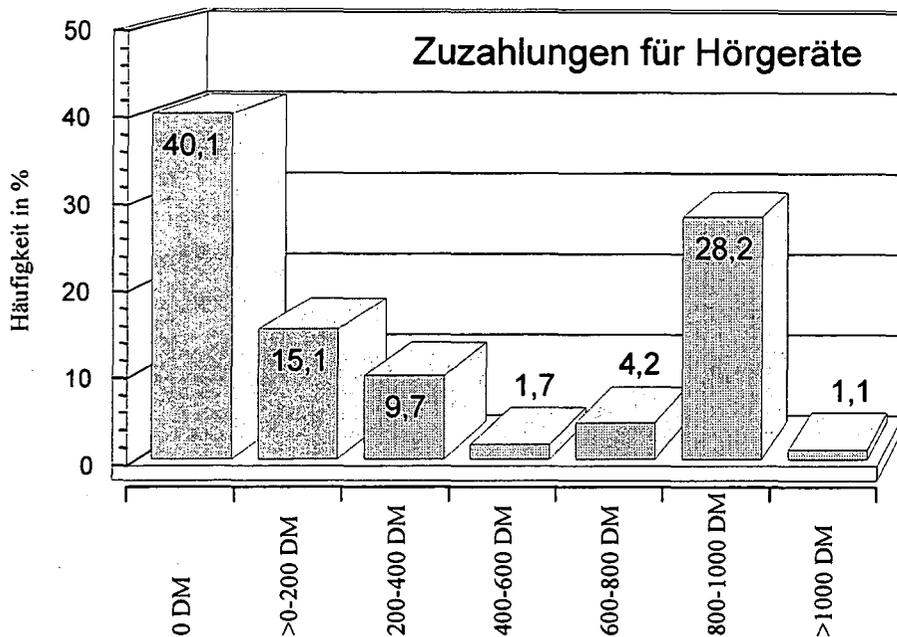


Abb. 8. Häufigkeit und Höhe der Zuzahlungen von Schwerhörigen zu ihren Hörgeräten.

IV - 5.6.9 Vergleich der Hörgerätearten

Eine Schichtung nach Hörgerätearten erbrachte bezüglich der Frage nach der Zufriedenheit mit dem Hörgerät Ergebnisse, die eine höhere Zufriedenheit der HdO- und Hörbrillenträger gegenüber den IdO-Trägern aufzeigen. Auch bei der Handhabung kommen HdO- und Hörbrillenträger besser zurecht als die IdO-Träger. Überdies wird das Tragen eines IdO-Geräts als deutlich anstrengender erlebt als das Tragen eines HdO-Gerätes oder einer Hörbrille.

Ein Vergleich der Verbesserungsleistungen über die Hörgerätearten muß ausgangswertbezogen bestimmt werden. Es dürfen nur solche Personengruppen miteinander verglichen werden, die ohne Hörgerät in den verschiedenen Situationen gleiche Ausgangswerte erzielen. Bei einer solchen Vorgehensweise sind keine größeren Leistungsunterschiede zwischen den Geräten zu erkennen. Tendenziell schneiden HdO-Geräte und Hörbrillen etwas besser ab als die IdO Geräte.

Von Interesse sind jedoch die nach Hörgerätetyp geschichteten Antworten der Hörgeräteträger auf die Fragen: Soll das Hörgerät weniger auffallen? Soll das Hörgerät modischer, etwa im Sinne der heutigen gutaussehenden Brillen gestaltet werden? Generell wünschen sich die HdO- und die Hörbrillenträger häufiger ein unauffälligeres Gerät als die IdO-Träger. Ein modischeres Hörgerät wird am meisten von den Hörbrillenträgern gewünscht.

IV - 5.6.10 Vergleich von monauraler und binauraler Versorgung

Inzwischen ist die binaural Versorgung mit einem Anteil von 55% unter den Hörgeräteträgern zu der Hauptversorgungsart avanciert. Sweetow (1990) zählt zu den Vorteilen einer binauralen Versorgung besonders die Verbesserung des Signalrauschabstands, die Gewinne durch binaurale Summation bei beidohrigem Hören, das Erzielen eines größeren Dynamikbereiches bei beidohriger Versorgung, ein besseres Richtungshören und das Vermeiden von Worterkennungsverlusten. Diese können bei monauraler Versorgung im Laufe einiger Jahre auf dem unversorgten Ohr entstehen.

Durch unsere Daten ist ein Vergleich über die subjektiv erlebte Verbesserung bei monauraler beziehungsweise binauraler Versorgung für verschiedene Hörsituationen möglich. Die folgenden Auswertungen werden getrennt nach den Angaben der Schwerhörigen zu ihren Hörfähigkeiten beim Hören ohne Hörgerät dargestellt. Die Berücksichtigung der Ausgangswerte ist notwendig, da davon auszugehen ist, daß bei guter Hörfähigkeit (z.B. beim Hören ohne Hörgerät in Ruhe) keine starke Verbesserung mit Hörgerät erwartet werden kann (Tabelle 6).

Tab. 6. Die Tabelle zeigt die Verbesserung des Hörens für verschiedene Situationen bei monauraler beziehungsweise binauraler Versorgung in Kategorieneinheiten einer fünfstufigen Kategorienskala von „sehr gut“ „gut“, „es geht“, „schlecht“ bis „sehr schlecht“. Geschichtet wurden diese Daten nach den Ausgangswerten der Schwerhörigen beim Hören ohne Hörgerät für diese Situationen. Zellen die von weniger als 4 Befragten besetzt sind, wurden nicht dargestellt. Grau unterlegte Zellen weisen dabei signifikante Unterschiede zwischen monauraler und binauraler Versorgung auf.

Ausgangswert: Hören ohne Hörgerät	gut		es geht		schlecht		sehr schlecht	
	mon.	bin.	mon.	bin.	mon.	bin.	mon.	bin.
mon.=monaural; bin.=binaural								
Hören in Ruhe	-0,10 n=20	0,36 n=33	0,89 n=67	1,14 n=100	1,58 n=36	1,97 n=60	2,25 n=4	2,67 n=34
Hören in lauter Umgebung			0,11 n=18	0,42 n=19	0,46 n=69	0,77 n=108	0,83 n=36	1,25 n=97
Erkennen von Stimmen	-0,28 n=21	-0,16 n=37	0,36 n=55	0,52 n=80	0,83 n=41	1,22 n=69	1,60 n=5	1,71 n=35
Klangqualität von Musik	-0,26 n=30	-0,43 n=37	0,49 n=65	0,61 n=88	1,13 n=23	1,61 n=59	1,75 n=4	2,25 n=36
Hören von Vogelgezwitscher	0,20 n=15	0,25 n=12	0,75 n=40	0,78 n=64	1,48 n=50	1,75 n=64	2,26 n=19	2,25 n=79
Richtungshören	-0,37 n=8	-0,05 n=19	0,27 n=48	0,50 n=68	0,94 n=55	1,17 n=80	1,40 n=10	1,65 n=49

Die Ergebnisse zeigen auf, daß insbesondere das Hören in Ruhe und das Hören in lauter Umgebung bei einer binauralen Versorgung signifikant besser ist als bei einer monauralen Versorgung. In den anderen Bereichen werden zumindest tendenziell größere Verbesserungen bei binauraler Versorgung erzielt. Überraschend ist jedoch das Ergebnis auf die Frage: „Sie hören eine Fahrradklingel oder Autohupe; wie gut können Sie ohne/mit Hörgerät die Richtung angeben, aus der das Geräusch kommt?“. Diese Frage haben wir als Item für das Richtungshören verwendet. Hierbei ergibt sich nur eine leicht höhere Verbesserung von binauraler gegenüber monauraler Versorgung. Wir vermuten jedoch, daß dies daran liegt, daß dieses Item in seiner Meßgenauigkeit nicht ausreicht, um beim Richtungshören einen Unterschied zwischen binauraler und monauraler Versorgung abzubilden.

Geben die Schwerhörigen an, daß sie bereits ohne Hörgerät in der entsprechenden Situation gut hören, dann ist es verständlich, daß sie mit Hörgerät in diesen Situationen nur geringfügige Gewinne oder sogar Verluste im Sinne eines Deckeneffektes der Skalierung erzielen.

IV - 5.7 Ergebnisse Teil II - Hierarchische Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA)

Die hierarchische Konfigurationsfrequenzanalyse (Krauth, J. und Lienert, G.A., 1973) ist im Gegensatz zur Faktorenanalyse eine nonparametrische Klassifikationsmethode, die für Merkmale aller Skalenniveaus eingesetzt werden kann. Sie prüft, ob bestimmte Konfigurationen von Merkmalen überzufällig häufig gemeinsam auftreten. Ihre Anwendungsmöglichkeit ist jedoch dadurch begrenzt, daß bereits für wenige Merkmale viele Merkmalsträger benötigt werden. Es ist deshalb sinnvoll, nur zentrale Merkmale in die Analyse einzubeziehen.

Die hierarchische KFA bietet außerdem den großen Vorteil, daß Zusammenhänge höherer Ordnung zwischen den Merkmalen des Modells erkannt werden können, die sich nicht mehr durch die Summation der Zusammenhänge niedriger Ordnung zwischen den Merkmalen erklären lassen, d.h., daß die Merkmale auf eine Weise zusammenhängen, die durch eine paarweise Betrachtung der Merkmale nicht erkannt wird. Sofern solche Zusammenhänge höherer Ordnung in den Daten vorhanden sind, sind sie ein Hinweis darauf, daß korrelative Verfahren vorsichtig interpretiert werden müssen, da diese nur die bivariaten Zusammenhänge erfassen.

Für die Berechnung einer hierarchischen KFA haben wir einen eigenen Modellansatz zur Zufriedenheit von Schwerhörigen mit ihren Hörgeräten konzipiert. Folgende Merkmale wurden in das Modell aufgenommen:

- 1.) Das Merkmal „Verbesserung des Hörens durch das Hörgerät“. Berechnet wurde hierbei ein Kennwert aus den Differenzen der Fragen zum Hören mit und ohne Hörgerät.
- 2.) Das Merkmal „Handhabung des Hörgeräts“. Ermittelt wurde ein Kennwert aus dem Zurechtkommen mit dem Hörgerät (Frage 23), dem Wunsch nach einer Fernbedienung, einem einfacheren Batteriewechsel und einer einfacheren Bedienung des Lautstärkereglers. (Frage 49).
- 3.) Das Merkmal „Anstrengung“. Hierbei wurde ein Kennwert aus der direkten Frage nach der Anstrengung (Frage 26) und der Zeitdauer bis zur Gewöhnung an das Hörgerät errechnet (Frage 35a).
- 4.) Das Merkmal „Belastung“. Dieses Merkmal wurde aus den Antworten zur Frage 8 (Belastung durch die Hörprobleme) erhoben.
- 5.) Das Merkmal „Peinlichkeit“. Die Peinlichkeit beim Tragen des Hörgeräts in der Öffentlichkeit ist ein Kennwert aus den Fragen Nr. 36, 47 und 48.
- 6.) Das Merkmal „Zufriedenheit“. Dieses setzt sich zusammen aus Antworten auf die direkte Frage nach der Zufriedenheit mit dem Hörgerät (Frage 10) und nach der durch das Hörgerät erfahrenen Hilfe (Frage 9) sowie durch eine hohe Anzahl von Tagen pro Woche, an denen das Hörgerät getragen wird (Frage 29).

Vor der Zusammenfassung zu Merkmalen wurden die einzelnen Variablen, sofern sie auf verschiedenen Skalen erhoben worden waren, z-transformiert. Anschließend wurden alle Merkmale

für die Berechnung der KFA mediandichotomisiert, d.h. jedes Merkmal wird auf die Ausprägungen „-“ und „+“ reduziert. Die hierarchische KFA berechnet zunächst alle möglichen Zusammenhänge zwischen je zwei Merkmalen (15 KFA's), dann die zwischen je drei Merkmalen (20 KFA's), dann die für jeweils vier Merkmale (15 KFA's), schließlich die Tafeln für jeweils fünf Merkmale (6 KFA's) und zuletzt eine mit sechs Merkmalen. So ergeben sich insgesamt siebenundfünfzig KFA-Tafeln. Da diese Prüfung auf Zusammenhänge an demselben Datensatz durchgeführt werden, muß das ursprüngliche alpha von 5% auf einen Wert von 0,089% adjustiert werden¹.

In Tabelle 7 werden nur die Zusammenhänge dargestellt, die auf dem adjustierten alpha-Niveau noch signifikant sind.

Tab. 7. Variablenkombinationen, Freiheitsgrad (df) , CHI-Quadrate und Richtung des Zusammenhangs signifikanter KFA-Tafeln.

Merkmalskombinationen auf 0,089%-Niveau signifikanter KFA-Tafeln					df	CHI-QUA	Richtung
Verbesserung	Handhabung				1	16,480	positiv
Verbesserung		Anstrengung			1	22,702	negativ
Verbesserung				Zufriedenheit	1	90,892	positiv
	Handhabung	Anstrengung			1	19,842	negativ
	Handhabung		Peinlichkeit		1	30,139	negativ
	Handhabung			Zufriedenheit	1	38,361	positiv
		Anstrengung	Peinlichkeit		1	22,702	positiv
		Anstrengung		Zufriedenheit	1	26,669	negativ
			Peinlichkeit	Zufriedenheit	1	11,141	negativ

Wie die Ergebnisse der KFA zeigen, besteht der höchste Zusammenhang (CHI-Quadrat: 90,892) zwischen den Merkmalen „Verbesserung“ des Hörens durch das Hörgerät und dem Merkmal „Zufriedenheit“ mit dem Hörgerät, d.h., bei großer Verbesserung wird eine hohe Zufriedenheit erzielt. Der zweithöchste Zusammenhang besteht zwischen der „Handhabung“ und der „Zufriedenheit“ gefolgt von dem Zusammenhang zwischen „Anstrengung“ und „Zufriedenheit“, sowie „Peinlichkeit“ und „Zufriedenheit“. Daraus ergibt sich, daß neben der Verbesserung eine gute Handhabung des Geräts die Zufriedenheit erhöht. Die „Anstrengung“ und die „Peinlichkeit“ stehen in einem negativen Zusammenhang zur Zufriedenheit, d.h., je geringer die Anstrengung beim Tragen des Hörgeräts ist und je weniger peinlich der Schwerhörige das Tragen des Hörgeräts in der Öffentlichkeit erlebt, desto höher ist seine Zufriedenheit.

Keinen signifikanten Zusammenhang mit der Zufriedenheit hat bei dieser Form der Datenanalyse jedoch das Merkmal „Belastung“.

¹ Geht man von einem ursprünglichen α' von 5% aus, dann errechnet sich eine α -adjustierte Irrtumswahrscheinlichkeit nach folgender Formel (Bortz, 1985): $\alpha = 1 - (1 - \alpha')^{1/m}$, wobei m die Anzahl der zu rechnenden Einzeltests ist. In unserem Fall sind dies 57. Es errechnet sich ein α -Wert von 0.00899. Daraus ergibt sich, daß nur Chi-Quadrat-Werte ab einem Wert von 10.906 signifikant sind.

Da nur Zusammenhänge zwischen je zwei Merkmalen signifikant werden und keine weiteren Zusammenhänge höherer Ordnung vorliegen, wäre es möglich, eine multiple lineare Regression zur Vorhersage von Zufriedenheit vorzunehmen. Für die Berechnung der KFA wurden jedoch nominalskalierte mit kategorialskalierten Variablen verrechnet und zu dichotomen Merkmalen zusammengefaßt. In diesem Fall bietet sich die multiple logistische Regression als Verfahren der Wahl an.

IV - 5.8 Ergebnisse Teil III- Multiple logistische Regression

Für die Analyse der Daten mit einer schrittweisen multiplen logistischen Regression werden dieselben Merkmale verwendet wie oben. Dieses Verfahren soll Auskunft darüber geben, in wie weit die Wahrscheinlichkeit, daß ein Hörgeräteträger zufrieden ist, von den verschiedenen anderen Merkmalen abhängt.

Der Vorteil der logistischen Regressionsmodelle liegt darin, daß die in dem Modell spezifizierten Parameter nach entsprechender Transformation in Odds Ratios überführbar sind (Kreienbrock & Schach, 1995). In unserem Fall ist das Odds Ratio als ein *Faktor* zu interpretieren, um den *die Chance mit dem Hörgerät zufrieden zu sein* steigt, wenn beispielsweise eine Verbesserung des Hörens durch das Hörgerät gegeben ist. Wie nach den Ergebnissen der KFA zu erwarten war, leistet die Belastung keinen Beitrag zur Modellierung der Zufriedenheit (Tabelle 8).

Tab. 8. Dargestellt ist das Signifikanzniveau einzelner Merkmale., das Odds Ratio, sowie die zugehörige untere (<5%) und obere (>5%) Grenze des Vertrauensintervalls zum 5%-Niveau.

Merkmal:	Signifikanzniveau	Odds Ratio	< 5%	> 5%
Verbesserung	< .001	4,676	3,292	6,642
Handhabung	< .001	1,974	1,384	2,815
Anstrengung	< .013	1,569	1,098	2,241
Peinlich	< .027	1.499	1,047	2,147

Wie die Tabelle 8 zeigt, vergrößert sich die Chance mit dem Hörgerät zufrieden zu sein um mehr als das Viereinhalbfache, wenn eine Verbesserung des Hörens durch das Hörgerät erzielt wird. Keine Probleme mit der Handhabung des Geräts erhöht die Chance auf einen zufriedenen Hörgeräteträger um ungefähr das Zweifache. Strengt das Tragen des Hörgeräts den Schwerhörigen jedoch an, beziehungsweise ist es ihm peinlich sein Hörgerät in der Öffentlichkeit zu tragen, dann sinkt die Chance zufrieden zu sein um jeweils ca. das Anderthalbfache.

Die Ergebnisse zeigen, daß der Akustiker sowohl auf der auditiven, wie auch auf der nonauditiven Seite Möglichkeiten hat, die Zufriedenheit seines Kunden zu erhöhen. Dieses Wissen dürfte besonders in den Fällen wichtig sein, bei denen aufgrund der Art und Ausprägung des Hörverlusts nur eine eingeschränkte auditive Rehabilitation möglich ist. In solchen Fällen sollte der Akustiker versuchen, die anderen nonauditiven Merkmale „Anstrengung“, „Handhabung“ und „Peinlichkeit“ möglichst positiv zu beeinflussen, um so das Risiko zu minimieren, daß sein Kunde das Hörgerät aufgrund seiner Unzufriedenheit nicht trägt.

Es ist jedoch zu beachten, daß diese Ergebnisse über die Gesamtstichprobe der Responder erhalten wurden. Es ist selbstverständlich, daß es in der Praxis der Hörgeräteanpassung individuelle Abweichungen geben kann. So ist es durchaus denkbar, daß die erlebte Peinlichkeit beim Tragen des Hörgeräts in der Öffentlichkeit dem einen Schwerhörigen mehr Probleme bereitet als dem anderen und so im Einzelfall von höherer Bedeutung sein kann. Dies ist eine Herausforderung an das psychologische Geschick der Hörgeräte-Akustiker und der HNO-Mediziner. Jeder einzelne Schwerhörige muß entsprechend seinen Bedürfnissen auf die neue Situation des Hörgerätetragens vorbereitet werden.

IV - 5.9 Diskussion

Im Vergleich zu vielen anderen Studien liegen mit den Ergebnissen des von uns konzipierten Fragebogens Daten vor, die zumindest in Teilbereichen durch die Erhebung einer Zufallsstichprobe aus der Gruppe der Nonresponder abgesichert sind. Hervorzuheben ist auch die große Anzahl von über sechzig Ärzten und über dreißig Akustikern, welche die Hörgeräte den Schwerhörigen dieser Studie verschrieben, beziehungsweise angepaßt haben. Damit sind Grundvoraussetzungen für die Übertragbarkeit der Ergebnisse geschaffen.

Besonderen Wert haben wir darauf gelegt, die Zufriedenheit der Schwerhörigen mit ihren Hörgeräten sowohl direkt wie auch indirekt zu erfassen.

Durch die Berechnung einer hierarchischen KFA wurden diejenigen Merkmale aufgedeckt, die zu einer Zufriedenheit mit der Hörgeräteversorgung beitragen. Von den dabei ermittelten vier Merkmalen „Verbesserung“, „Handhabung“, „Anstrengung“ und „Peinlichkeit“ bedarf insbesondere das Merkmal „Anstrengung“ (Kennwert aus Frage 26 und 35a) einer Diskussion. Hierbei muß kritisch angemerkt werden, daß die Formulierung der Frage 26: „Wie oft bemerken Sie, daß das Tragen des Hörgeräts Sie anstrengt?“ nicht mehr im Detail den Rückschluß erlaubt, was für den Hörgeräteträger der Auslöser der Anstrengung war. Es ist gleichermaßen denkbar, daß auditive Ursachen, wie beispielsweise eine verzerrte Signalübertragung vorliegen oder aber auch nonauditive Ursachen, so zum Beispiel ein drückendes Ohrpaßstück. Aufgabe weiterer Forschung wird es sein, daß Merkmal „Anstrengung“ in konkret beeinflussbare Teilaspekte zu zerlegen, um so dem Hörgeräteakustiker gezielte Hinweise zur Erlangung einer noch größeren Kundenzufriedenheit zu geben.

Neben der Erfassung der Zufriedenheit gibt der Fragebogen durch die Fragen zum Hören ohne Hörgerät in verschiedenen Situationen Auskunft über das Gehör des Befragten. Durch die Bildung einer Differenz zu den Fragen zum Hören mit Hörgerät ist die Verbesserungsleistung des Hörgeräts festzustellen. In allen verschiedenen befragten Situationen konnte dabei eine auditive Verbesserung mit Hörgerät ermittelt werden. Dennoch wird das Hören mit Hörgerät in den meisten Fällen nicht als „sehr gut“ beziehungsweise „gut“ beschrieben, sondern eher als „es geht“. Damit ist klar, daß auch auf der auditiven Seite noch ein Verbesserungspotential vorliegt. Dieses läßt sich zukünftig gewiß durch optimierte Methoden der Hörgeräteanpassung und technisch weiterentwickelte Hörgeräte ausschöpfen.

Von besonderem Interesse für die Hörgerätehersteller und die Hörgeräteakustiker dürften die marktwirtschaftlichen Daten über die Verbreitung von Gerätetypen, die Anzahl monauraler beziehungsweise binauraler Versorgungen sowie die Anzahl an bisher im Einsatz befindlichen Fernbedienungen sein. Darüber hinaus wird durch die Rangliste der Verbesserungswünsche der Befragten die Dringlichkeit und Notwendigkeit von verschiedensten Vorschlägen dargestellt.

Innerhalb unseres Forschungsprojektes wird gegenwärtig die Validität der hier vorliegenden subjektiven Daten untersucht. Bisher haben wir dazu etwa dreißig Personen, die den Fragebogen ausgefüllt haben, mit objektiven Verfahren nachuntersucht. Durchgeführt wurden dabei der Freiburger Sprachtest, eine Hörschwellenmessung und eine Hörfeldaudiometrie jeweils mit und ohne Hörgerät. Diese Daten sollen durch objektive Messungen bei weiteren Personen ergänzt werden.

Danksagung

Der AOK Würzburg, insbesondere Frau Alt-Steiner, Herrn Hadam und Herrn Junker sei herzlich für die organisatorische Unterstützung und die harmonische Zusammenarbeit gedankt.

Das diesem Artikel zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (Förderkennzeichen 01VJ8903) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

IV - 5.10 Literaturverzeichnis

- ARMBRUSTER, J.M. & MILLER, M.H. (1981). *How to get the most out of your hearing aid*. Library of congress catalogue, 1981/1986, Washington D.C.
- BARHAM, L.J. & STEPHENS, S.D.G. (1980). *The use of an open-ended problems questionnaire in auditory rehabilitation*. British Journal of Audiology. 14, 49-54.
- BERGER, K.W., ABEL, D., HAGBERG, E., PUZZ, L., VARAVVAS, D. & WELDELE, F. (1982). *Successes and Problems of Hearing Aid Users*. Hearing Aid Journal. 35/12, 26-30.
- BORTZ, J. (1985). *Lehrbuch der Statistik für Sozialwissenschaftler*. 2. Auflage. Springer-Verlag. Berlin.
- BROOKS, D.N. (1985). *Factors relating to the under-use of postaural hearing aids*. British Journal of Audiology. 19, 211-217.
- CHUNG, S.M. & STEPHENS, S.D.G. (1986). *Factors influencing binaural hearing aid use*. British Journal of Audiology. 20, 129-140.
- COMBS, A. (1986). *Hearing loss help*. Impact Publishers. San Luis, California.
- COX, R.M. & GILMORE, C. (1990). *Development of the profile of hearing aid performance (PHAP)*. Journal of Speech and Hearing Research. 33, 343-357.
- EWERTSEN, H.W. & BIRK-NIELSEN, H. (1973). *Social Hearing Handicap Index. Social Handicap in Relation to Hearing Impairment*. Audiology. 12, 180-187.
- FLORIN, I. (1990). *Psychische Symptome und Krankheitsanfälligkeit bei schwerhörigen Erwachsenen. Teil I*. Hörakustik 9/90, 17-21.
- GIOLAS, T.G., OWENS, E., LAMB, S.H. & SCHUBERT, E.D. (1979). *Hearing Performance Inventory*. Journal of Speech and Hearing Disorders. 29, 169-195.
- GOLABEK, W., NOWAKOWSKA, M. SIWIEC, H. & STEPHENS, S.D.G. (1988). *Self-reported benefits of hearing aids by the hearing impaired*. British Journal of Audiology. 22, 183-186.
- HAGGARD, M.P., FOSTER, J.R. & IREDALE, F.E. (1981). *Use and benefit of postaural aids in sensory hearing loss*. Scand. Audiol. 10, 45-52.
- HIGH, W.S., FAIRBANKS, G., & GLORIG, A. (1964). *Scale for Self-Assessment of Hearing Handicap*. Journal of Speech and Hearing Disorders.

- HOLUBE, I. & KOLLMEIER, B. (1991). *Ein Fragebogen zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens: Erstellung der Fragen und Beziehung zum Tonschwellenaudiogramm*. *Audiol. Akustik*. 30, 48-64.
- HOLUBE, I. & KOLLMEIER, B. (1994). *Beziehungen zwischen dem Einsilber-Reimtest in Ruhe und der Ton- und Sprachaudiometrie*. *Audiol. Akustik*. 33, 22-35.
- IFAV (1994). *Hörgeräte zum Festbetrag. Zuzahlungsfreie Angebote und Zufriedenheit der Patienten, Ergebnisse empirischer Untersuchungen im Auftrage des Bundesministeriums für Gesundheit*. Köln.
- KAPTEYN, T.S. (1977). *Satisfaction with fitted hearing aids. I. An analysis of rather technical information*. *Scand. Audiol.* 6, 147-156.
- KAPTEYN, T.S. (1977). *Satisfaction with fitted hearing aids. II. An investigation into the influence of psycho-social factors*. *Scand. Audiol.* 6, 171-177.
- KOCHKIN, S. (1990). *Introducing Marke Trak: A consumer tracking survey of the hearing-instrument market*. *Hear. Jour.* 43(5), 17-27.
- KOCHKIN, S. (1991). *MarkeTrak II: More Mds give hearing tests, yet hearing aid sales remain flat*. *Hear. Jour.* 44(2), 24-35.
- KOCHKIN, S. (1992). *MarkeTrak III: Higher hearing aid sales don't signal better market penetration*. *Hear. Journ.* 45(7), 47-54.
- KOCHKIN, S. (1992). *MarkeTrak III identifies key factors in determining consumer satisfaction*. *Hear. Journ.* 45(8), 39-44.
- KOCHKIN, S. (1992). *MarkeTrak III-Part 3: Would lower retail prices grow the market?*. *Hear. Journ.* 45(9), 33-38.
- KOCHKIN, S. (1993). *MarkeTrak III: Why 20 Million in US don't use hearing aids for their hearing loss*. *Hear. Journ.* 46(1), 20-27.
- KOCHKIN, S. (1993). *MarkeTrak III: Why 20 Million in US don't use hearing aids for their hearing loss*. *Hear. Journ.* 46(2), 26-31.
- KRAUTH, J. & LIENERT, G.A. (1973). *Die Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA) und ihre Anwendung in Psychologie und Medizin*. Verlag Karl Alber. Freiburg, München.
- KREIENBOCK, L. & SCHACH, S. (1995). *Epidemiologische Methoden*. Gustav Fische Verlag. Stuttgart.
- NEUMANN, T. (1994). *Zuzahlungen für Hörgeräte und Zufriedenheit der Versicherten*. Die Betriebskrankenkasse. 5/94, 304-312.
- NOBLE, W.G. (1979). *The hearing measurement scale as a paper-pencil form: preliminary results*. *Journal of the American Auditory Society*. 5, 95-106.
- SCHMITT, R. & DRESSEN, K. (1992). *Marktreport Hörgeräte. Tendenzen in der Versorgung von Personen mit auditiver Kommunikationsbehinderung*. ProMeComm. Hamburg.
- SWEETOW, R. W. (1990) *Binaurale Versorgung in den USA*. 35. Internationaler Hörgeräte-Akustiker-Kongreß, Mainz.
- WALDEN, B.E., SCHWARTZ, D.M., WILLIAMS, D.L., HOLM-HARDEGEN, L. & CROWLEY, J. (1983). *Tests of the assumptions underlying comparative hearing Aid Evaluations*. *Journal of Speech and Hearing Disorders*. 48, 264-273.
- WALDEN, B.E., DEMOREST, M.E. & HEPLER, E.L. (1984). *Self-report approach to assessing benefit derived from amplification*. *Journal of Speech and Hearing Research*. 27, 49-56.
- WAYNER, D. S. (1990). *The hearing aid handbook. Clinician's Guide to Client Orientation*. Clerk Books, Gallaudet University Press. Washington, D.C.

IV - 6 PRACTICAL BENEFIT OF HEARING AIDS

ELMAR FICHTL, WOLFRAM KNOBLACH
ARMIN STOCK, MICHAEL BORETZKI, OTTO HELLER

*Department of Psychology, University of Würzburg
Röntgenring 11, 97070 Würzburg, Germany
E-mail: fichtl@psychologie.uni-wuerzburg.de
knoblach@psychologie.uni-wuerzburg.de*

ABSTRACT

Different approaches to measuring practical benefit reported in the literature are discussed. An epidemiological study (n=674) which had been carried out with the cooperation of the AOK Würzburg (a local health insurance company) is reported on. In order to find the central variables influencing the patients' satisfaction with their hearing aids 5 indices were calculated representing satisfaction with the aid, auditive improvement, the ability to handle the aid, the strain perceived when wearing the aid and the embarrassment felt when wearing the aid in public. The configuration frequency analysis showed no higher order interactions between these indices and a multiple logistic regression determined the auditive improvement as the main factor influencing satisfaction with the aid, followed by the handling of the aid. No correlation was found between satisfaction with the aid and the results of the Freiburg speech test and two parameters representing the individual audible field for 21 subjects. The consequences for further research are discussed.

IV - 6.1 Literature review

In general, practical benefit of hearing aids can be defined as the extent to which the problems a hard of hearing person encounters in everyday life are reduced. The problems reported by hard of hearing persons include, among others, the difficulty in understanding other persons in noisy environments, missing important signals, such as the ringing of the doorbell or the telephone, not being able to locate sound sources, such as approaching cars, properly or the extreme sensitivity to background noises and loud sounds. The goal when fitting a hearing aid is the maximum reduction of these problems with special emphasis on the intelligibility of speech in quiet environments as well as in noisy ones.

To evaluate the success of the hearing aid fitting, we have to define a reliable and valid measure for the benefit. At the moment, there are two main approaches to this task. One is a more technical, indirect approach based on the differences in the results obtained with the tests usually used for the diagnosis of the hearing impairment and the hearing aid fitting with and without the hearing aid. In the other approach, the patients (pts) are either asked directly about the perceived benefit in different situations, or the differences in the individual scaling of the perceived difficulty or quality of hearing in different situations with and without the hearing aid are calculated. In addition, the overall satisfaction with the hearing aid can be used as a validation of rehabilitative variables.

The use of differences in pre-post results of objective tests is a logical step in the diagnostics and fitting procedure. If the test results give a valid estimation of the hearing disability, the difference between results obtained with and without the hearing aid should also be a valid estimation of the benefit the hearing aid offers its user. The selection of tests used varies among researchers, but usually a measure for the hearing loss at the absolute threshold (such as the average loss at .5, 1 and 2 kHz (Fletcher-Index; e.g. Kapteyn, 1977), or the average loss at .5 and 4 kHz and the slope between the loss at .5 kHz and 4 kHz (Holube & Kollmeier, 1994)) and one or two measures of speech intelligibility (measurement of the Speech Reception Threshold (SRT), Word Identification (WI)

scores at conversational levels (e.g. Tannahill, 1979), monosyllabic rhyme test results in quiet and in noise (S75N315; Holube & Kollmeier, 1994)) are used. When loudness scaling is used for the measurement of the audible field, loudness functions at different frequencies for the measurements with and without the hearing aid can be compared and their relative position to the norm functions evaluated.

There are a number of questionnaires for the direct measurement of perceived benefit. Among those used in English-speaking countries are the Hearing Performance Inventory (HPI, Giolas et al., 1979), the Hearing Handicap Scale (HHS, High et al., 1964), the Hearing Handicap Inventory for the Elderly (HHI, Ventry & Weinstein, 1982), the Social Hearing Handicap Index (SHHI, Ewertsen & Birk-Nielsen, 1973), the Hearing Measure Scale (HMS, Noble & Atherley, 1970) and many more. In Germany a translated version of the SHHI has been examined (v. Wedel, 1983); Holube and Kollmeier (1991, 1994) developed a questionnaire to assess the subjective hearing handicap. The main difference between these questionnaires is the number of aspects their concept of hearing handicap includes and in the operational definition of this concept. Some concentrate on the auditory aspects, such as understanding of speech, localisation of sounds and perceived sound quality; others also include personal characteristics, social handicap and emotional response to the hearing impairment.

In order to establish the relationship between objective measures and scalings of the perceived benefit or the perceived handicap with and without the hearing aid, a number of investigations were carried out and produced different results. Noble & Atherley (1970) compared the self-assessment of 46 men on the HMS and their test results for ten audiological tests, including speech reception threshold (SRT) for di-syllables, speech discrimination loss for monosyllables and pure-tone air-conduction thresholds. They found that "comparison of results with standard audiological tests reveals a consistent, but not a close correlation between scale score and first, i.e. highest, SRT for di-syllables, followed by high frequency pure-tone acuity followed by speech discrimination score for monosyllables". (Noble & Atherley, 1970, p. 245). Tannahill (1979) examined 24 pts with bilateral, sensorineural hearing losses who had not used a hearing aid prior to the study. He found only a nonsignificant correlation between SRT difference scores in quiet and HHS difference ratings, but a significant and quite high correlation of 0.74 ($p < 0.01$) between word identification (WI) difference scores at conversational level and the HHS difference ratings. Tannahill's explanation for the lack of correlation for the SRTs is that for individuals with "mild losses or losses in the higher frequencies only, improvement in SRT would be less important or in some cases undesirable" (Tannahill, 1979, p. 97). Kapteyn (1977) used a questionnaire with a broad concept of hearing impairment that allowed him to calculate three different indices: the hearing index (questions on general hearing ability), the aural perception index (questions on speech intelligibility in different situations) and the social index (questions on social behaviour and personality). He calculated correlation coefficients between all variables including the questionnaire indices, some additional answers to the questionnaire and audiometric features with the hearing aid (Fletcher index (dB), maximum discrimination (%) and aural perception score (%)). They showed high intercorrelation for the three indices and a high correlation between the indices and the overall score for the aid. The three audiometric tests are also highly intercorrelated but show no significant correlation with the overall score for the aid. The correlation coefficients between the audiometric test results and the three indices showed only a "very weak relationship" (Kapteyn, 1977, p. 175). Holube & Kollmeier (1994) investigated the relationship between the results of a monosyllabic rhyme test in quiet and in various signal-to-noise conditions and the individual ratings of hearing ability and ability to understand speech in different situations. They established that "speech intelligibility in quiet using the monosyllabic rhyme test was closely related to the responses assigned to 'hearing in quiet' in the questionnaire, whereas the results in noise did not correspond well either to the responses for 'hearing in noise' or those assigned to other areas". (Holube & Kollmeier, 1994, p. 23)

These results show that there is only a weak relationship between the perceived benefit of the hearing aid and the improvement in scores obtained with objective audiometric tests. The question is whether the objective tests have no or only a small validity for everyday life situations or if questionnaires are not suitable for obtaining unbiased descriptions of a person's hearing ability or handicap. While some researchers tend to doubt the validity of audiometric tests for everyday life situations (Kapteyn, 1977), especially when the ease of communication is not included in the measurement of speech intelligibility, which results in the overestimation of communication ability (Walden et al., 1984), others doubt the validity of answers to a questionnaire, especially if scales show skewed distributions and heterogeneity of variance (Hutton & Canahl, 1985). After a literature review of scales and their properties Hutton & Canahl (1985) come to the conclusion that the use of scalings of the satisfaction/dissatisfaction with the hearing aid for the validation of rehabilitative variables is impossible. "Satisfaction/dissatisfaction appears to be a multidimensional, ordinal scale with no physical basis. Attempts to define this scale are limited by the fact that each user is influenced by his/her own criteria for satisfaction, regardless of what instructions are given". (Hutton & Canahl, 1985, p. 257)

The goal when fitting a hearing aid must be to find a parameter setting - or several with a multiprogram aid - that will result in the maximum benefit and is likely to be adequate for most of everyday life situations. In order to achieve this, we will have to find the central variables influencing perceived benefit and satisfaction with the hearing aid and to establish a model that describes the interaction between these variables. Such a model would be invaluable in the fitting process, because it could help us to ask the right questions in order to detect individual problems with the aid and their causes at an early stage and, in this way, avoid frustrating experiences over a longer period of time.

IV - 6.2 Epidemiological study

In order to find the central variables influencing perceived benefit and satisfaction with the hearing aid a survey using a questionnaire was carried out. The construction of the questionnaire was based on an extensive literature review. The reported approaches were evaluated and supplemented with our own experiences. In this way, we constructed an item pool that enabled us to obtain information on a broad spectrum of potentially relevant aspects.

Finally, 49 questions were selected from the item pool, including questions on demographic data, personal circumstances, hearing impairment, hearing and intelligibility in different situations with and without the hearing aid, the kind of aid and fitting, the handling of the aid and on suggestions for technical improvement of the aid in general. Most of the questions had to be answered using a 4- or 5-point scale or by responding with *yes* or *no*.

A more extensive report of this study is given in Stock et al. (1995).

IV - 6.2.1 Population and sample size

In cooperation with the Allgemeine Ortskrankenkasse (AOK) Würzburg (a health insurance company), 3606 hearing aid wearers were written to and asked to fill in the questionnaire. Of the 743 people (20.6%) who requested the questionnaire, 674 people (responders) filled it in and returned it to us. To ensure that the people who did not respond do not differ systematically from the others, a random sample of these people was drawn and asked to fill in a short questionnaire consisting of a subset of 7 questions (age, satisfaction with the hearing aid, speech intelligibility in a noisy environment with and without the hearing aid, time between battery changes, and time the hearing aid

is worn). Of this additional sample of 336 people, 170 (50.6%) people sent back the completed short questionnaire (non-responders).

IV - 6.2.2 Descriptive statistics

Age distribution (fig. 1) of both responders and non-responders matches that of the population. 50.25% of the people surveyed were women and 49.75% men, which also matches the distribution of the population.

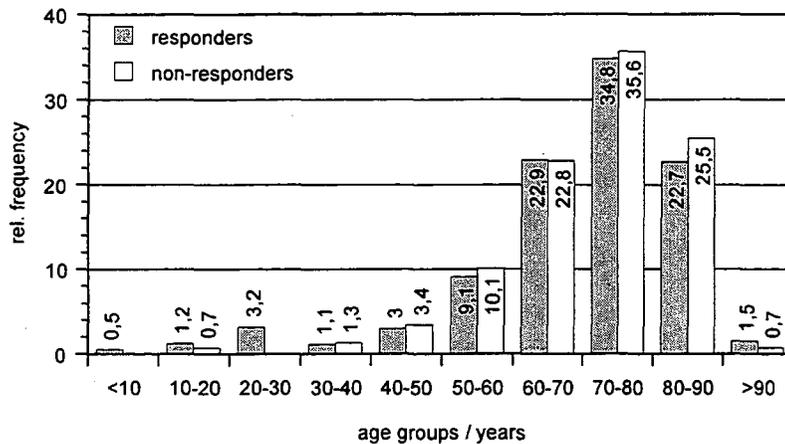


Fig. 1: Comparison of responders and non-responders regarding age distribution

The only difference between responders and non-responders is slightly better scalings of the ability to understand speech in a noisy environment with as well as without the hearing aid for the non-responders. Table 1 demonstrates that responders and non-responders are equally satisfied/dissatisfied with their hearing aids.

Table 1: Comparison of responders and non-responders regarding their satisfaction with their hearing aids. Values give the relative frequency in percent with which each category had been chosen.

	very satisfied	more satisfied than dissatisfied	more dissatisfied than satisfied	very dissatisfied
responders	27.7%	41.9%	25%	5.4%
non-responders	20.5%	46.6%	26.1%	6.8%

The following descriptive statistics give a short survey of the most important bivariate relations between variables for the group of the responders only.

In order to find the central variables influencing perceived benefit and satisfaction with the hearing aid, five groups of items are especially important in the analysis: satisfaction with the hearing aid, the improvement in hearing when the aid is worn, the handling of the aid, the strain experienced when using the aid and the embarrassment felt when wearing the aid in public.

The group "satisfaction with the hearing aid" includes the following three questions: *How satisfied are you with your hearing aid?* (4-point scale), *How helpful is your hearing aid?* (4-point scale) and *How many days per week do you wear your hearing aid?* (number of days). The intercorrelation between satisfaction with the aid and helpfulness of the aid ($r=0.67$) and between

helpfulness of the aid and days/week the aid is worn ($r=0.52$) are highly significant; the intercorrelation between satisfaction with the aid and days/week the aid is worn ($r=0.28$) is statistically not significant. In order to be able to use the answers to these questions as the criterion variable in the analysis of the data for higher order interrelations between variables, they were combined to an index "satisfaction". All indices used in the study are calculated as the median dichotomised unweighted mean of the z-transformed variables. Whenever necessary, variables were recoded so that high or low values consistently stand for either positive or negative judgements.

The group "improvement in hearing when the aid is worn" includes the following seven questions which all had to be responded to on a 5-point scale and were asked twice, once at the beginning for the hearing ability without the hearing aid and a second time towards the middle of the questionnaire regarding the hearing ability with the hearing aid (in this way a bias induced by the first answer should have been minimised): *How well do you understand speech with/without your hearing aid when you are talking to one person in quiet?* (quiet), *How well do you understand speech with/without your hearing aid when you are talking to one person in a group of people?* (group), *How well can you communicate on the telephone with/without your hearing aid?* (telephone), *How well can you recognize an acquaintance according to the sound of his voice with/without your hearing aid?* (voice), *How good does music sound with/without your hearing aid?* (music), *How well are you able to hear birds twittering e.g. in the park or in the woods with/without your hearing aid?* (birds), *You hear someone ring a bicycle bell or sound a car horn; how well can you tell the direction the sound is coming from with/without your hearing aid?* (directional hearing). The improvement in hearing is then calculated as the difference between the scalings of the questions on hearing with the aid and those on hearing without the aid. Table 2 shows arithmetic means and standard deviations for all the questions and the respective difference between the questions on hearing with and without the hearing aid. Intercorrelations between the variables are listed in table 3.

Table 2: Arithmetic means (m) and standard deviations (s) for all the questions on hearing ability with and without hearing aid and the improvement in hearing ability when the aid is worn (mean without hearing aid - mean with hearing aid). The 5-point scale used was coded: 1 = very well, 2 = well, 3 = acceptable, 4 = badly and 5 = very badly.

	with hearing aid		without hearing aid		improvement
	m	s	m	s	
intelligibility in quiet	2,114	0,805	3,499	0,924	1,38
intelligibility in a group	3,528	1,010	4,314	0,711	0,79
communication on the telephone	3,008	1,080	3,469	1,006	0,46
recognizing voices	2,718	0,917	3,455	0,938	0,74
sound quality of music	2,532	0,879	3,403	0,966	0,87
audibility of birds twittering	2,458	0,959	3,831	0,981	1,37
directional hearing	2,941	0,920	3,751	0,914	0,81

Table 3: Intercorrelations between the improvements in the seven situations listed in table 2. One asterisk indicates a significant correlation coefficient ($p < 0.05$), two asterisks a highly significant one ($p < 0.01$).

	quiet	group	telephone	voice	music	birds twittering
group	0.30					
telephone	0.48*	0.28				
voice	0.58**	0.15	0.76**			
music	0.53*	- 0.07	0.56*	0.77**		
birds twittering	0.44*	0.04	0.62**	0.57**	0.70**	
directional hearing	0.70**	0.42	0.55*	0.64**	0.55**	0.31

Almost all intercorrelations are either highly significant or significant with relatively high coefficients. The situation "group" shows no significant correlation at all, but this is the only situation that includes background noise and the phrasing of the question leaves a lot of room for the individual's interpretation of how much background noise there would be. For these seven items an index "auditive improvement" was calculated in exactly the same way as for the index "satisfaction".

The group "handling of the aid" includes the four items: *How well do you manage the handling of the aid?* (5-point scale), *According to your experience, should the aid be equipped with a remote control?* (yes/no), *According to ..., should the battery exchange be simplified?* (yes/no), *According to ..., should the operation of the volume control dial be simplified?* (yes/no). Almost 75% of the responders said that they are able to handle the aid either very well or well. Nevertheless, the three indirect questions show that more than 50% would like a volume control dial which is easier to operate, some 40% an easier battery exchange and 40% would like a remote control. These variables were combined in the index "handling ability".

The group "experienced strain when wearing the aid" consists of two items: *How often do you notice strain, when you are wearing the hearing aid?* (5-point scale), *How long did it take you to get accustomed to wearing the aid?* (number of months). 23% of the people said that they experience strain often or very often. For 47% it took only one month to get used to the aid, but 11% needed more than 6 months. Both variables were combined in the index "perceived strain".

The group "the embarrassment felt when wearing the aid in public" includes three items: *Do you feel embarrassed when you are wearing the hearing aid in public?* (4-point scale), *The hearing aid should be less noticeable.* (yes/no), *Hearing aids should be designed in a more fashionable way e.g. like modern day glasses.* (yes/no). Only 26% of the people said that they feel embarrassed or very embarrassed when they are wearing the aid in public, but 59% would like an aid which is less noticeable. On the other hand, 56% would like a more fashionable aid, and, quite surprisingly, these are mainly the ones who desired a less noticeable aid as well. The items were combined in the index "embarrassment felt".

IV - 6.2.3 Modelling the influence of the four indices on satisfaction with the hearing aid

In order to determine the relative importance of the above-mentioned aspects "auditive improvement", "handling ability", "perceived strain" and "embarrassment felt" on the pts' satisfaction

with the hearing aid, an analysis of the interactions between the respective indices has to be carried out. Common modelling techniques such as multiple linear regression can only be applied if there are no higher order interactions between the indices. Descriptive statistics based on linear correlations such as factor analysis would not give a correct picture of the underlying interrelations either when higher order interactions are present. Hierarchical configuration frequency analysis (cfa; Krauth & Lienert, 1973) was used to detect any higher order interactions present in the data. This method represents a nonparametric classification procedure which determines if the frequency of any variable combinations (duplets, triplets, quadruplets,...) significantly exceeds the expected frequency.

The cfa shows no significant results for any combination with more than two variables. There are high positive relations between "satisfaction" and "auditive improvement" ($\chi^2=90.9$) and "satisfaction" and "handling ability" ($\chi^2=38.4$), and negative relations between "satisfaction" and "perceived strain" ($\chi^2=26.7$) and "satisfaction" and "embarrassment felt" ($\chi^2=11.1$). These results show the additivity of the effects of the four variable groups.

Since the indices have been median dichotomised a multiple logistic regression (MLoR) instead of a multiple linear regression is the correct statistical procedure. The MLoR allows us to calculate odds-ratios which indicate the change of probability for the criterion variable to occur when another variable is present. Table 4 shows the odds-ratios and their level of significance for the four indices. The variable with the strongest influence on the satisfaction with the hearing aid is the auditive improvement, as the cfa already has shown. If auditive improvement is given, it is 4.7 times likely that the person is satisfied than when it is not. The next important factor is the ability to handle the aid, which makes it about twice as likely that the person will be satisfied with the aid. Both, perceived strain and the embarrassment felt have a minor influence too.

Table 4: Odds-ratios, their exact level of significance and confidence intervals (ci; $p < 0.05$) for the relation between the indices and satisfaction with the hearing aid.

	odds-ratio	level of significance	lower limit of ci	upper limit of ci
auditive improvement	4.676	<.001	3.292	6.642
handling ability	1.974	<.001	1.384	2.815
perceived strain	1.569	<.013	1.098	2.241
embarrassment felt	1.499	<.027	1.047	2.147

IV - 6.3 Comparison between objective test results and perceived hearing handicap

For 21 pts (responders) the individual scalings in the questionnaire could be related to the objective measurement of unaided and aided speech intelligibility in quiet (Freiburg test; monosyllabic nouns and numerals), and unaided and aided audiometry of the audible field using the category partitioning (CP) procedure (Heller, 1985). The test room was a sound-treated cellar room and the digitally stored signals were presented using a computer (DA-conversion) and AKG K1000 earphones connected to a K1000-amplifier. Signal frequencies in the measurement of the audible field were .25, 1, 2 and 4 kHz for all subjects and, in addition .5, 3, 6 and 8 kHz for some of the subjects. Two parameters were calculated to represent the deviation of the individual's loudness functions from

the norm functions. The first parameter is the mean absolute distance (MAD; dB SPL) between the individual's loudness functions and the norm functions at the norm loudness corresponding to a signal level of 65 dB SPL for the frequencies .25, 1, 2 and 4 kHz. The second parameter is the mean deviation of the individual's slope (MDS) of the loudness functions from the slope of the norm functions for the same 4 frequencies. The deviation is calculated in the following way: for the pt's loudness functions and the norm functions the sound pressure level corresponding to a loudness of 15 scale units on the CP-scale (soft) is subtracted from the sound pressure level corresponding to 35 scale units (loud) and then the pt's value is divided by the norm value. Quotients smaller than 1 indicate recruitment functions.

Table 5 shows the intercorrelations for the following values: SRTs for numerals and monosyllables, the audible field parameters MAD and MDS and the individual's scalings of the perceived handicap in the situation "speech intelligibility in quiet" (quiet) and the index "satisfaction" described above for hearing with and without the hearing aid. Without the hearing aid the only significant positive correlations are between the two speech intelligibility subtests ($r=0.86$) and between the judgment of the ability to understand speech in quiet and the monosyllables ($r=0.59$). With the hearing aid the correlation between the speech intelligibility subtests is also significant, but there is no relation between the judgment of intelligibility and the objective measure. Instead the relation between the MDS and the intelligibility judged is significant.

Table 5: Intercorrelations for the measures: SRTs for numerals and monosyllables, audible field parameters MAD and MDS (the absolute common logarithm of the MDS-values in order to obtain a linear scale), the individual's scalings of the perceived handicap in the situation "speech intelligibility in quiet" (quiet) and the index "satisfaction" for the hearing with and without hearing aid. One asterisk indicates a significant correlation coefficient ($p<0.05$), two asterisks a highly significant one ($p<0.01$).

without hearing aid

	satisfaction index	quiet	SRT numerals	SRT monosyllables	MAD (loudn. dev.)
quiet	-0.31				
SRT-numerals	-0.15	0.48			
SRT-monosyllables	-0.25	0.59*	0.86**		
MAD (loudn. dev.)	-0.27	0.23	-0.29	-0.09	
MDS (loudn. slope)	0.15	0.27	0.22	0.53	-0.13

with hearing aid

	satisfaction index	quiet	SRT numerals	SRT monosyllables	MAD (loudn. dev.)
quiet	0.14				
SRT-numerals	-0.12	0.41			
SRT-monosyllables	0.10	0.41	0.84**		
MAD (loudn. dev.)	-0.40	0.14	-0.02	-0.11	
MDS (loudn. slope)	0.34	0.51*	0.33	0.38	-0.30

None of the objective or subjective variables shows a correlation to the index "satisfaction" with the hearing aid. Only for speech intelligibility without the hearing aid is there a relation between objective and subjective measures. In addition, there is no correlation between the SRTs in the speech intelligibility test and the parameters chosen to represent the individuals' audible fields. Due to the small sample size the results cannot be generalised, but they correspond to the results reported in the

literature reviewed and indicate the generally weak relationship between objective and subjective measures.

IV - 6.4 Discussion

The analysis of the results obtained with the questionnaire shows that the pt's satisfaction with the hearing aid is mainly determined by the auditive gain, although difficulties in handling the aid, perceived strain when using the aid and embarrassment influence it as well. In the configuration frequency analysis only bivariate relations were statistically significant, indicating that there are no complicated interrelations between the aspects of hearing handicap included in this questionnaire and that the effects of these variables are additive. Therefore, Hutton & Canahl's (1985) conclusion that „each user is influenced by his/her own criteria for satisfaction, regardless of what instructions are given“ (Hutton & Canahl, 1985, p. 257) cannot be confirmed.

The comparison between the objective measurement of the pt's loudness perception and speech intelligibility in quiet with their judgments of their satisfaction with their hearing aid (index) and their scalings of their ability to understand speech in quiet with and without the hearing aid showed no clear and consistent relationship between any of the measures. Although the sample size is too small for a generalisation, this finding agrees with the results of similar studies reported in the literature.

The strong influence of auditive improvement on satisfaction with the aid found in the questionnaire data stands in contrast to the weak relation between objectively measured and subjectively judged intelligibility or satisfaction with the aid. However, the index used to represent auditive improvement includes not only speech intelligibility in quiet, but also speech intelligibility in noise, perceived sound quality, directional hearing and other variables. On the one hand it is possible that this much broader concept is closer to the pts' criterion for judging satisfaction with the aid than a single isolated measure. If, on the other hand, the individuals' criteria vary, e.g. for one person it is important to be able to understand speech in a noisy environment and for the other person it is more important to have a good sound quality when playing music, and both individuals' hearing aids have been optimised accordingly, then it is more probable that an overall correlation between auditive improvement and satisfaction with the aid will be found if the index includes many different aspects.

In order to find the right solution to this problem, we will have to develop an objective test that enables us to measure the intelligibility and/or perceived sound quality with material that is as close as possible to the everyday life situations which determine the success of a hearing aid fitting. Only the comparison of the individual's responses to the standardised material in the laboratory and his or her reports of the perceived handicap in the same or similar situations in everyday life and his or her assessment of the relative importance of these situations enables us to find out: A) Which situations are equally important for most of the people or how many different sets of important situations are there? B) Which realisations of a situation can be regarded as prototypes and have therefore a high correspondance of objective measures and subjective evaluations?

In addition to cross sectional studies, we will have to carry out longitudinal studies as well, in which a number of pts will receive different hearing aid fittings over several months. Only by analysing the covariation of the test results, the questionnaire data and the general experiences with each fitting will it be possible to find out what the relevant situations and questionnaire items are and how these are related to the speech intelligibility tests and the audible field audiometry which are usually applied.

Acknowledgements:

We would like to thank the AOK Würzburg for their cooperation with the epidemiological study.

The study described in this article was supported with funds of the Bundesminister für Forschung und Technologie (Förderkennzeichen 01VJ8903). The authors are responsible for the content.

IV - 6.5 References

- Cox, R.M. & Alexander, G.C. (1991) Hearing aid benefit in everyday environments. *Ear and Hearing*, Voll. 12, 2, 127-139.
- Heller, O. (1985) Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienunterteilung (KU). *Psychologische Beiträge* 27, 478-493.
- Holube, I. & Kollmeier, B. (1991) Ein Fragebogen zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens: Erstellung der Fragen und Beziehung zum Tonschwellenaudiogramm. *Audiologische Akustik*, Vol. 30, 2, 48-64.
- Holube, I. & Kollmeier, B. (1994) Modifikation eines Fragebogens zur Erfassung des subjektiven Hörvermögens und dessen Beziehung zur Sprachverständlichkeit in Ruhe und unter Störgeräuschen. *Audiologische Akustik*, Vol. 33, 4, 22-35.
- Hutton, Ch.L., & Canahl, J.A. (1985) Scaling patient reports of hearing aid benefit. *The journal of auditory research*, Vol. 25, 255-269.
- Kapteyn, T.S. (1977) Satisfaction with fitted hearing aids. II. An investigation into the influence of psycho-social factors. *Scandinavian Audiology*, 6, 171-177.
- Krauth, J. & Lienert, G.A. (1973) Die Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA) und ihre Anwendung in Psychologie und Medizin. Verlag Karl Alber, Freiburg, München.
- Noble, W.G. & Atherley, G.R.C. (1970) The hearing measurement scale: a questionnaire for the assessment of auditory disability. *Journal of Auditory research*, Vol. 10, 229-250.
- Stock, A., Fichtl, E., Knoblach, W., Boretzki, M. & Heller, O. (1995) Über das Tragen von Hörhilfen - Ergebnisse einer epidemiologischen Studie. *Audiologische Akustik*, in press.
- Tannahill, J.C. (1979) The hearing handicap scale as a measure of hearing aid benefit. *Journal of speech and hearing disorders*, Vol. 44, 91-99.
- Walden, B.E., Demorest, M.E. & Hepler, E.L. (1984) Self-report approach to assessing benefit derived from amplification. *Journal of speech and hearing research*, Vol. 27, 49-56.
- v. Wedel, H. (1983) Analysis and evaluation of the social hearing ability among old persons by means of the Social Hearing Handicap Index (SHHI). *Bulletin of Audiophonology*, Vol. 16, 8, 207-218.

IV - 7 Determinants of hearing aid satisfaction

Aspects concerning the use of hearing aids in Germany

Armin Stock, Elmar Fichtl und Otto Heller

Department of Psychology, University of Würzburg

Röntgenring 11, D-97070 Würzburg, Germany

E-mail: stock@psychologie.uni-wuerzburg.de

ABSTRACT

The American and German hearing aid markets differ in several ways. The fitting and selling of hearing aids is mainly carried out by special hearing aid acousticians whereas in the USA there are many different sources.

The frequency with which different types of hearing aids are sold in Germany shows a distribution different to that in the United States. 85% of the aids sold in the USA are of the type ITE, ITC or CIC, while in Germany 68% are BTE-aids (or hearing aid glasses).

How do these factors influence satisfaction with the hearing aid? Is the visibility of the aid less important for German hearing aid owners than for American hearing aid owners? In relation to other factors influencing satisfaction with the hearing aid, how important is the feeling of embarrassment when wearing the aid in public?

These and a variety of other questions will be answered with reference to the results obtained, using a questionnaire, from 674 hearing aid owners. Using configuration frequency analysis (cfa) and multiple logistic regression (mlr) a number of factors were determined which are important for the hard of hearing persons' satisfaction with their hearing aids. These results are compared with the data reported by Kochkin (1992a,b)^{1,2}.

In addition to the analysis of the given fittings, data concerning the hearing aid owners' suggestions for improvements are of great importance. We asked the hard of hearing persons how they would like future aids to be improved. These suggestions have been rank ordered and can be used as one aspect for future marketing strategies.

IV - 7.1 Introduction

For a hard of hearing person living in Germany, the visit to the ENT-specialist is the first important step towards being fitted with a hearing aid. The specialist diagnoses the hearing loss by measuring pure-tone thresholds and by means of a speech intelligibility test ("Freiburg Speech Test"). If the hearing loss exceeds a defined limit, the fitting of a hearing aid is judged to be necessary and a prescription is issued. In this case, the hard of hearing person can claim a fixed sum of money from

his health insurance company to help pay for the hearing aid. This sum covers all or at least a large part of the costs incurred (on average about 78%) depending on the type of hearing aid, which indices (e.g. remote control) and how much convenience the individual person desires. The difference between the actual cost of the aid and the insurance company's contribution has to be paid by the customer.

The next step towards the fitting of a hearing aid is a visit to the hearing aid acoustician. This is a person who has been trained for several years and has an extensive knowledge of all facts regarding the fitting of hearing aids. His three-year training includes physics, electrical engineering, the technical aspects of hearing aids, metrology, anatomy and the physiology of the ear, the electro-acoustic measurements, the fitting process and the making of earmolds. In addition, he is taught counseling and commerce. About 90% of the hearing aids worn in Germany are fitted by hearing aid acousticians. The remaining 10% are fitted by ENT-specialists.

In contrast to Germany, where there are only two supply sources, a hearing aid can be obtained from a variety of different sources in the USA. Kochkin (1992a)¹ alone lists twelve possibilities, including hearing aid stores/dispensers, ENT-specialists, department stores and even mail-order companies.

However, all those who are involved in the production, distribution and fitting of hearing aids have one thing in common: they work in the services sector and have a commercial interest which they wish to maintain as long as possible.

This is a well-known fact and anyone who has been in business for any length of time knows that the key to success is to be found, on the one hand, in a good product and in the quality of the service on the other hand. These two aspects determine customer satisfaction. Although this reasoning is obvious, it is all the more astonishing that market research very rarely models the determinants of the construct customer satisfaction on the basis of statistical data.

A questionnaire, which will be described in this paper, was sent to 674 hearing aid owners. Using the data obtained we were able to determine, in addition to a number of interesting descriptive analyses, which factors and to what extent these factors influence the hard of hearing persons' satisfaction with their hearing aids.

IV - 7.2 The concept of the questionnaire

An extensive literature review preceded the putting together of the questionnaire. A list of 96 questions covering 11 topics was compiled from a total of 16 surveys from 1964 to 1990. The surveys used are marked with an asterisk in the references. At the same time, we compiled our own list of questions on the basis of interviews carried out over the last 5 years with hard of hearing persons. The two lists were used to put together a questionnaire of 49 questions. The majority of the answers had to be given as values on scales with four or five categories.

The questionnaire described below is divided into five sections:

a) **Personal questions.** These include personal data such as date of birth and personal circumstances, as well as facts about the hearing loss, such as when it was first noticed, the progress, severity and possible causes of it. In addition, we asked about general satisfaction with the hearing aid and how helpful it was. The last question in this section is about the person's general state of health and is

considered as a variable moderating the individual's answers in general (e.g. his satisfaction with his hearing aid).

b) Questions about hearing ability. These questions are designed to help us find out how the hard of hearing person copes in different situations **without** his hearing aid. As in other surveys we included the situations "hearing in quiet", "hearing in company", "hearing on the telephone" and "directional hearing". In addition, we asked questions about the perceived quality of sounds ("How does music sound to you without a hearing aid?") and questions to determine how well high-frequency sounds, such as birds singing, are perceived.

c) Questions about the hearing aid. Questions include the type of hearing aid, the use of the aid, how long it is usually worn, how long it took the owner to get accustomed to it, the doctor who prescribed it, the acoustician who fitted it and, finally, how embarrassing it is to wear the aid in public.

d) Questions about hearing with the aid. These include the same questions as in b), making a direct comparison possible as well as an estimation of the auditive improvement as a result of the hearing aid.

e) Suggestions for hearing aid manufacturers. In the final part of the questionnaire the hearing aid owners had the opportunity to suggest ways of improving their hearing aids. We listed several aspects which hearing aid owners usually complain about and asked whether the owners thought there was room for improvement or not. In this way the aspects listed could be rank ordered according to the frequency of the positive answers. In addition, the owners were able to make their own suggestions.

Personal questions

CODE:

- 1) Date of birth: _____
- 2) How long have you had problems with your hearing? Approximately _____ years
- 3) How have these problems progressed?
Rate of deterioration: slow rapid gradual
Do you know what caused your hearing problems? illness noise accident
- 4) Do you live: alone with your family with other people?
- 5) Are you or have you ever been exposed to loud noise?
 very often often occasionally seldom never
- 6) How severe are your hearing problems?
 very severe severe not too bad slight very slight
- 7) Are you deaf or almost deaf in one ear?
 left (almost) deaf no right (almost) deaf
- 8) How much do your hearing problems bother you?
 very much much noticeably a little not at all
- 9) Do you find your hearing aid helpful?
 very helpful quite helpful not so helpful not helpful

10) Are you satisfied with your hearing aid?
 very more or less not really not at all

11) What is your general state of health like?
 very good good reasonable bad very bad

Questions about your hearing ability

12) How well do you understand someone during a conversation *in quiet surroundings* when you are *not* wearing a hearing aid?
 very well well reasonably well with difficulty with great difficulty

13) How well do you understand someone during a conversation *in a large group of people* when you are *not* wearing a hearing aid?
 very well well reasonably well with difficulty with great difficulty

14) How well can you communicate on the telephone when you are *not* wearing a hearing aid?
 very well well reasonably well with difficulty with great difficulty

15) How easy is it to recognize a friend's voice when you are *not* wearing a hearing aid?
 very easy easy reasonably easy with difficulty with great difficulty

16) How does music sound to you when you are *not* wearing a hearing aid?
 very good good acceptable bad very bad

17) How well do you hear e.g. birds singing in a park or in the woods when you are *not* wearing a hearing aid?
 very well well reasonably well with difficulty with great difficulty

18) How often do you notice that people are not speaking clearly enough when you are *not* wearing a hearing aid?
 very often often occasionally seldom never

19) How often are you startled because you haven't heard someone soon enough when you are *not* wearing a hearing aid?
 very often often occasionally seldom never

20) You hear a bicycle bell or a car horn. How easy is it to tell which direction the sound is coming from when you are *not* wearing a hearing aid?
 very easy easy reasonably easy with difficulty with great difficulty

Questions about your hearing aid

21) What is your hearing aid like? (More than one answer is possible)
 aid worn behind the ear without earmold both ears
 aid worn in the ear with earmold left ear
 hearing aid glasses no tubing right ear
 bone conduction aid tubing
 pocket aid

22) Is your hearing aid fitted with remote control? yes no

23) Is your hearing aid easy to use? How easy is it to put on, take off, adjust, change the batteries?
 very easy easy reasonably easy difficult very difficult

24) How often do you or other people notice acoustic feedback from your hearing aid?
 very often often occasionally seldom never

25) How often do you have to change the batteries? Approximately every ____ days.

- 26) How often do you feel that wearing a hearing aid is a strain?
 very often often occasionally seldom never
- 27) If you had to wait two weeks for your hearing aid to be repaired, how would you cope without it during this time?
 very well well reasonably well with difficulty with great difficulty
- 28) How often do you use the customer service provided by your acoustician? About _____ a year.
- 29) How many days a week do you wear your hearing aid? Approximately _____ day/s a week.
- 30) How many hours a day do you wear your hearing aid? Approximately _____ hour/s a day.
- 31) Which doctor prescribed the hearing aid? _____
- 32) Which acoustician fitted the hearing aid? _____
- 33) How long have you had your present hearing aid? Approximately _____ year/s.
- 34) How many hearing aids have you had, including the present one? _____
- 35) Did you have problems getting used to your hearing aid? yes no
- 35a) How long did it take you to get used to your hearing aid? Approximately _____ month/s.
- 36) Do you find it embarrassing to wear your hearing aid in public?
 very embarrassing embarrassing a little embarrassing I don't mind at all

Questions about your hearing when you wear a hearing aid?

- 37) How well do you understand someone during a conversation *in quiet surroundings* when you *are* wearing a hearing aid?
 very well well reasonably well with difficulty with great difficulty
- 38) How well do you understand someone during a conversation *in a large group of people* when you *are* wearing a hearing aid?
 very well well reasonably well with difficulty with great difficulty
- 39) How well can you communicate on the telephone when your *are* wearing a hearing aid?
 very well well reasonably well with difficulty with great difficulty
- 40) How easy is it to recognize a friend's voice when you *are* wearing a hearing aid?
 very easy easy reasonably easy with difficulty with great difficulty
- 41) How does music sound to you when you *are* wearing a hearing aid?
 very good good acceptable bad very bad
- 42) How well do you hear e.g. birds singing in a park or in the woods when you *are* wearing a hearing aid?
 very well well reasonably well with difficulty with great difficulty
- 43) How often do you notice that people are not speaking clearly enough when you *are* wearing a hearing aid?
 very often often occasionally seldom never
- 44) How often are you startled because you haven't heard someone soon enough when you *are* wearing a hearing aid?
 very often often occasionally seldom never
- 45) You hear a bicycle bell or a car horn. How easy is it to tell which direction the sound is coming from when you *are* wearing a hearing aid?
 very easy easy reasonably easy with difficulty with great difficulty
- 46) Do you consider it necessary for us to check the settings of your hearing aid? yes no

Suggestions for hearing aid manufacturers

- 47) The hearing aid should be less obvious! yes no
- 48) The hearing aid should be more fashionable - for example, like today's glasses!
 yes no
- 49) In my experience, the hearing aid could be improved in the following ways:
- | | | |
|--|------------------------------|-----------------------------|
| Understanding speech in quiet surroundings: | <input type="checkbox"/> yes | <input type="checkbox"/> no |
| Understanding when there is a lot of background noise: | <input type="checkbox"/> yes | <input type="checkbox"/> no |
| Music should sound better: | <input type="checkbox"/> yes | <input type="checkbox"/> no |
| Better sound quality: | <input type="checkbox"/> yes | <input type="checkbox"/> no |
| Lower battery consumption: | <input type="checkbox"/> yes | <input type="checkbox"/> no |
| Remote control preferred: | <input type="checkbox"/> yes | <input type="checkbox"/> no |
| Batteries easier to change: | <input type="checkbox"/> yes | <input type="checkbox"/> no |
| Easier volume control: | <input type="checkbox"/> yes | <input type="checkbox"/> no |
| Earmold: | <input type="checkbox"/> yes | <input type="checkbox"/> no |
| Easier to clean: | <input type="checkbox"/> yes | <input type="checkbox"/> no |
| Other suggestions: | _____ | |

IV - 7.3 Population and sample size

Thanks to a local health insurance company we had a population of 3606 hearing aid owners from Wuerzburg in Lower Franconia in the north of Bavaria. These owners had received a new or replacement aid during the last five years. For reasons of data protection, the insurance company wrote to the entire population and asked them to participate in the survey. If they were interested, they could write their name and address on the postcard provided and return it to us. They then received the questionnaire. The 743 people (20.6%) who took advantage of this offer will be referred to as responders. 674 of the responders returned the completed questionnaire, that is 90.7%. The rest of the population who did not answer the insurance company's letter will be referred to as nonresponders. To ascertain that the responders did not represent a specific subgroup of the population, we took a random sample of 336 people from the nonresponders and had the insurance company send them a postcard with six questions. The nonresponders were asked their age as well as questions Nos. 10, 13, 25, 29, 30 and 38 from the questionnaire above. 50.6% of the sample responded. As a result, a comparison of responders and nonresponders was possible, and the generalization of the results could be tested at least for some of the questions. A total of 844 of hearing aid owners were thus surveyed.

IV - 7.4 Descriptive Evaluation Part I

As the comparison of the two samples (responders and nonresponders) has been described in detail by Stock at al. (1995), only the conclusion drawn from this comparison will be given here. No statistically significant differences between responders and nonresponders were found with regard to age distribution, hearing ability with and without a hearing aid in noisy surroundings, and satisfaction with the hearing aid. It was, however, found that hearing ability among those who answered spontaneously (responders) tended to be slightly worse with the hearing aid and there was a slightly

higher degree of satisfaction. As these differences are only slight and statistically insignificant, the results described below are only based on the responders' (N = 674) data.

IV - 7.4.1 Results for Section A of the questionnaire: Personal Questions

IV - 7.4.1.1 Age distribution

Table 1 shows the age distribution of the sample. As expected, the higher age groups predominate with a maximum in the 70-80 years category.

Table 1 Age distribution of responders

< 10 years	10-20 years	20-30 years	30-40 years	40-50 years	50-60 years	60-70 years	70-80 years	80-90 years	>=90 years
0.5 %	1.2 %	3.2 %	1.1 %	3.0 %	9.1 %	22.9 %	34.8 %	22.7 %	1.5 %

80% of the people surveyed are older than 60. However, it should be noted that much younger people frequently suffer from hearing loss. There are usually several years between the first signs of hearing loss and the prescribing and fitting of a hearing aid. *Schmitt and Dressen (1992)*⁴ indicate an average of 13 years between the first experience of "I can't hear well" and the visit to the ENT specialist.

IV - 7.4.1.2 Cause, progress, and duration of the hearing problems

Questions about the cause, progress and duration of the hearing problems showed the following results: The category "up to 10 years" was indicated most frequently for the duration of the hearing problems (Figure 5). 73.6% described the progress of the hearing problems as slow; 9.8% described it as rapid; 15.1% said it progressed gradually.

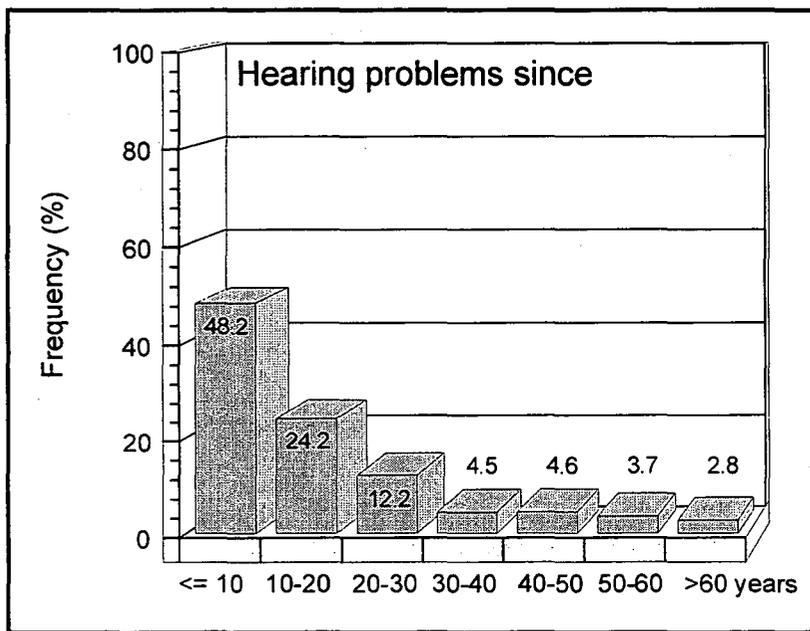


Figure 1 Information given by the people surveyed regarding how long they had been suffering from hearing problems.

These results match the information the people surveyed gave about the possible cause of their hearing loss. (Figure 2)

A total of 27.2% said that the causes were illness and/or an accident. In this case, progress is normally rapid or gradual, as indicated by 24.9%. If progress was slow, the cause was most probably loud noise throughout the person's life or a hearing impairment developing with age. In this case, noise was given as the cause (20.9%), or no cause was given (49.6%). The sum of these values corresponds well to the frequency with which progress was said to be slow.

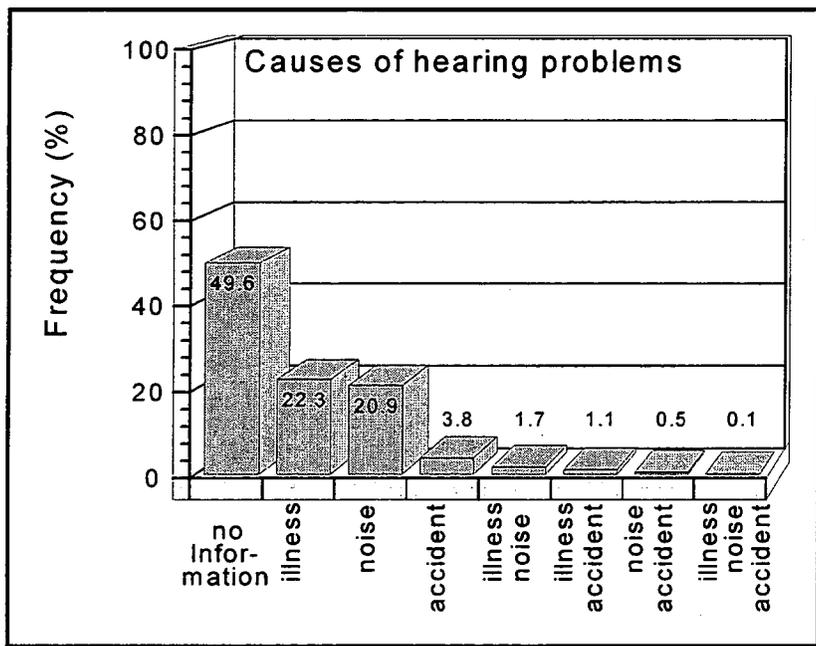


Figure 2 Information given by those surveyed about the causes of their hearing problems. If no information was given, we assumed that hearing had deteriorated slowly and that there was no particular cause.

69% said they lived with their family or with other people. They indicated higher subjective noise-induced stress than the 31% of hearing aid owners living alone. At the same time, however, they had fewer problems using and operating the hearing aid.

The strain they were under as a result of not being able to hear well was described as follows: 12.1% said they were under extremely heavy strain; 37.6% said they were under heavy strain; 33.6% said the strain was noticeable; 15.9% felt some strain; and 1.4% said they felt no strain.

IV - 7.4.1.3 Satisfaction with and helpfulness of the hearing aid

The results from the questions about satisfaction with and the helpfulness of the hearing aid are encouraging, as 69.9% said that they were either very satisfied or more or less satisfied with it and found it very or quite helpful (77%). Less than one-third said that it was not very or not at all helpful and were correspondingly not very satisfied or even dissatisfied with the aid. (Table 2)

Table 2 Satisfaction with and helpfulness of the hearing aid.

Satisfaction			
very satisfied	more or less satisfied	not very satisfied	dissatisfied
27,7%	41,9%	25,0%	5,4%

How helpful the hearing aid is			
very helpful	quite helpful	less helpful	not very helpful
46,6%	30,4%	13,6%	9,4%

Kochkin (1992a)¹ obtained the following satisfaction ratings in the MarkeTrak III studies from 1989 to 1991 (Table 3):

Table 3 Satisfaction with hearing instruments. Data from Kochkin (1992a)¹.

Satisfaction with Hearing Instruments					
year	Very satisfied	Satisfied	Neutral	Dissatisfied	Very dissatisfied
1989	23,1%	35,4%	22,6%	13,3%	5,8%
1990	21,4%	33,3%	23,6%	14,4%	7,4%
1991	20,1%	37,9%	21,7%	13,3%	7,1%

If the two categories "satisfied" and "very satisfied" are seen together, a mean of 51.1% very satisfied or satisfied hearing aid owners over the three years is obtained. The initial impression that the number of people in Germany who are satisfied with their hearing aid is considerably higher than in the USA is not necessarily true. If we consider that in Kochkin's study several of the people who were more or less satisfied with their hearing aid answered "neutral" (this was not possible in our study), then we must count half of the "neutral" answers as "satisfied" and the other half as "dissatisfied" in order to obtain a fair comparison. In this case, Kochkin obtains an average satisfaction of 68.4%, which deviates only slightly from our 69.6%. This consideration, however, is called into question by Kochkin (1992a)¹, who, in a study which has not been published yet, says that there was no significant improvement in people's judgment of their satisfaction when the category "slightly satisfied" was added. This either means that 57.1% of the hearing aid owners in the USA really are satisfied with their hearing aid or that an average 22.6% choose "neutral" because they prefer not to commit themselves. The bottom line is that at best the number of people who are satisfied with their hearing aid corresponds to the number in Germany, but is probably lower.

The assumption that American hearing aid owners are less satisfied with their aid is all the more plausible in view of the fact that, according to Kochkin (1992a)¹, people who wear a BTE hearing aid or have been fitted binaurally are more satisfied than those who wear an ITE or ITC hearing aid or have been fitted monaurally. Our data also show that BTE hearing aid owners are significantly more satisfied than ITE hearing aid owners (Our study did not include ITC hearing aids). If we compare the frequency distribution of the different types of hearing aids worn in Germany to those in the USA (Table 4), we find that we are justified in saying that there is a greater degree of satisfaction in

Germany as the percentage of BTE hearing aid owners, 67.6% (both BTE hearing aids and hearing aid glasses), is much higher than the 15% BTE hearing aid owners in the USA.

Table 4 Comparison of the frequency distribution of types of hearing aids used in Germany and the USA. Data for the USA received by Kochkin 1995 ⁵.

Type of hearing instrument	Germany	USA
BTE	51.7 %	15 %
ITE	29.6 %	41 %
ITC	-----	44 %
Hearing aid glasses (=BTE)	15.9 %	-----
pocket aid	2.4 %	-----
bone conduction aid	0.5 %	-----

Why is it that the majority of German acousticians prefer to fit a BTE hearing aid and not a less obvious ITE or ITC hearing aid as is the case in the USA? This could be due to the difference in prioritization of the different aspects determining consumer satisfaction. This question will be discussed below in the context of the construction of a consumer satisfaction model. First, however, further descriptive statistics will be given.

IV - 7.4.1.4 Correlations between satisfaction with the hearing aid and other variables

There are a number of correlations between nonauditive variables and the direct degree of satisfaction with the hearing aid, or with the perceived helpfulness of the hearing aid (Table 5).

If a person has problems using his hearing aid, takes a long time to get used to it and feels strain when wearing it, he does not find it helpful and is dissatisfied with it. The degree of satisfaction is also connected with the frequency of acoustic feedback and embarrassment when wearing the hearing aid in public.

Table 5 Correlations (and level of significance) of selected items between satisfaction with a hearing aid and the help given by it.

Correlations	Using the hearing aid	Time to get used to the hearing aid	Strain from wearing the hearing aid	Frequency of acoustic feedback	Embarrassed by wearing in public
Satisfied with the hearing aid	.465 p= .000	-.342 p= .000	-.409 p= .000	-.318 p= .000	-.251 p = .000
How helpful the hearing aid is	.411 p = .000	-.342 p= .000	-.350 p= .000	-.130 p= .001	-.247 p= .000

IV - 7.4.2 Results for sections B and D: Improvement in hearing in various situations as a result of the hearing aid

In contrast to Koschkin (1992b) ², who only had people judge their satisfaction with their hearing with a hearing aid in various situations, we asked about the quality of hearing with and without a hearing aid in various acoustic situations. The questions regarding the situations listed in Table 6 were measured using 5-category scales. The categories were: "very well/easy", "well/easy", "reasonably well/easy", "with difficulty", and "with great difficulty" for hearing in various situations, and "very often", "often", "occasionally", "seldom" and "never" for the frequency with which certain situations arise. The categories were coded from the most positive to the most negative using numbers from 1 to 5. Table 6 gives the arithmetic means (m) and the standard deviations (s) for the questions on hearing with and without a hearing aid. The inferential statistical test for differences in the arithmetic means against the total variability in the scores (t-test for related samples) showed very high significance for all questions.

Table 6 Arithmetic means (m), standard deviations (s) and differences in the mean values for the questions on hearing with and without a hearing aid.

	With a hearing aid		Without a hearing aid		Differences
	m	s	m	s	
Hearing in quiet surroundings	2.114	0.805	3.499	0.924	1.38
Hearing in noisy environment	3.528	1.010	4.314	0.711	0.79
Phone	3.008	1.080	3.469	1.006	0.46
Recognizing voices	2.718	0.917	3.455	0.938	0.74
Sound quality of music	2.532	0.879	3.403	0.966	0.87
Hearing birds singing	2.458	0.959	3.831	0.981	1.37
Other people speaking unclearly	2.565	0.908	2.232	1.178	0.33
Startled by noise	3.407	1.022	2.747	1.188	0.66
Directional hearing	2.941	0.920	3.751	0.914	0.81

The average improvement in hearing performance and hearing quality for all nine items is 0.82 scale values, which corresponds to almost one category.

It is worth noting that it was **only** in "quiet surroundings" and in the case of "birds singing" that people described their hearing with a hearing aid as good. In all other cases, they described their hearing with a hearing aid as at best "acceptable". It is clear that hearing aids are helpful, but not good enough for owners to be 100% satisfied with them. (See Table 2)

A comparison with the satisfaction ratings described by Kochkin (1992b) ² shows a correspondence to the effect that those situations in which (in our study) hearing was improved by wearing a hearing aid correspond to those (in Kochkin's study) in which people said they were satisfied with their hearing aid. People mostly said they were dissatisfied with their hearing or their hearing aid in situations with background noise (e.g. a large group) or in situations with bad sound quality (e.g. phone).

IV - 7.4.3 Results for section C: Type of hearing aids

As already shown in Table 4, 51.7% of our sample of hearing aid owners have a BTE hearing aid. 29.6% have an ITE hearing aid. 15.9% wear hearing aid glasses. 2.4% have a pocket hearing aid, and only 0.5% have a bone conduction aid. 55.5% had been fitted binaurally. This high number is not consistent with the number of binaural fittings (20%) obtained in a study by the "Institut für angewandte Verbraucherforschung IFAV (Institute for applied consumer research; 1994⁶)". The inconsistency, however, is explained when we consider that the data from the afore-mentioned study were obtained in 1992. Our study covers 1989 to 1994. During these five years the number of people fitted with their first hearing aid increased on average by 14.02%. By contrast, the number of people fitted binaurally for the first time increased on average by 24.6%. This can be attributed to the fact that in 1993 and 1994 the number of first binaural fittings increased by an average of 45.5%.

In the USA the trend towards binaural fittings began four years earlier. Kochkin (1990) reports that in 1989 the number of binaural hearing aids in the USA was 50 - 53%. The advantages of binaural fittings will be discussed below.

Only 9.3% said that their hearing aid had remote control.

IV - 7.4.3.1 Operation, acoustic feedback, time between battery changes and number of hours the hearing aid is worn

72.6% said they were able to use their hearing aid easily or very easily. 7.4% said it was difficult or very difficult. Especially hearing aid owners living alone said they had problems using the hearing aid.

If we consider the correlations between coping with the hearing aid and the answers to the questions about hearing with it, we generally find a significantly negative correlation. A person who has few problems using the hearing aid also describes a greater improvement in hearing with it. This can be explained to some extent by the fact that problems with the use of the hearing aid lead to the batteries being changed less frequently, which in turn affects the performance of the hearing aid. Statistical testing however, only showed a slight tendency for owners with operational problems to change the batteries less frequently.

If, however, we analyse the hearing aid owners' suggestions for improvements to their hearing aids, we obtain highly significant results with regard to these suggestions: "The hearing aid should have remote control", "Easier volume control", "Batteries easier to change". In these cases, those people who have problems using their hearing aid make the above-mentioned suggestions significantly more frequently.

In this case, it is possible to help the owners, who are usually elderly and frequently have reduced motor skills, with special training. People who dispense hearing aids should consider the possibility of offering such training automatically when the hearing aid is dispensed. Another possibility would be for the health insurance company to pay for a hearing aid with remote control when a patient has reduced motor skills.

Acoustic feedback is not only unpleasant for the owner, if he hears it all, but also for those around him who are annoyed by it. Both aspects are covered by asking the question "How often do you or others notice acoustic feedback from your hearing aid?". 32.6% chose the categories "very often" and "often". 38.7% said "occasionally", and less than one-third (28.7%) said they seldom or never had problems with it. Acoustic feedback is a technical problem and can be helped by maximizing the

distance between the microphone and the receiver. This, of course, is greater with a BTE hearing aid than with an ITE hearing aid. Shell earmolds can help further. In addition, there are moves on the part of hearing aid manufacturers to use digital feedback control systems.

The time between battery changes indicates how intensively a hearing aid is used. Of course the estimated value is only rough since a battery change is necessary sooner or later depending on the necessary amplification, the type of hearing aid and the type of battery used. Table 7 shows the relative frequencies for the battery change in intervals of weeks.

Table 7 Time between battery changes

1 Week	2 Weeks	3 Weeks	4 Weeks	5 Weeks	6 Weeks
26.5%	53.1%	13.5%	2.5%	3.6%	0.8%

The fact that 79.6% change the batteries every two weeks indicates that the hearing aids are used frequently. We calculated the number of hours/week the hearing aid is worn from our direct questions about the length of time the hearing aid is worn. If we set the limit for the frequent user at a minimum of seven hours a day, we obtain from the direct questions a value of 72.2% who wear their hearing aid seven or more hours a day. Table 8 shows the total distribution of the length of time the aid is worn.

Table 8 Relative frequency of the time the hearing aid is worn in hours per week

>=140h/w	120-140h/w	100-120h/w	80-100h/w	60-80h/w	40-60h/w	20-40h/w	0-20h/w
0.2%	2.1%	20.4%	24.4%	13.2%	11.9%	14.5%	13.4%

Frequent battery changes as well as the high values for the length of time the aid is worn correspond well to the results obtained from question 27. People were asked how well they could cope if their hearing aid had to be sent away for repair for two weeks. 55.2% said that they could cope with difficulty or great difficulty. 34.8% said reasonably well. Only 10% said that they would have no problems and could cope well or very well in such a case.

IV - 7.4.3.2 Wearing a hearing aid in public

In Germany an estimated 14 million people are hearing impaired. There are, however, only about 1.5 million hearing aid owners. One reason why many people who are hearing impaired do not wear a hearing aid is that many of them are not open-minded enough about their problem. Many of them also imagine that it would be embarrassing to wear a hearing aid in public. When we asked "Do you find it embarrassing to wear your hearing aid in public?", 74% said they did not mind at all. The remaining 26% said it was a little embarrassing, and a few (2.4%) said it was very embarrassing. The more embarrassing a person finds wearing his hearing aid in public, the worse he describes his hearing with the hearing aid in the different situations. Obviously these people say significantly more frequently that they would like to have a hearing aid which is less obvious or is at least fashionable. It was also to be expected that it was more often the younger people who found it embarrassing to wear their hearing aid. This feeling of embarrassment also has an effect on satisfaction with the hearing aid and how helpful it is found to be. Both values decrease with increasing embarrassment. It is also

understandable that there is a correlation with the amount of strain felt when wearing the hearing aid. The strain is greater, the more embarrassing it is to wear the hearing aid in public.

IV - 7.4.4 Results for section E: Suggestions for hearing aid manufacturers

The following results were obtained from the evaluation of the suggestions for hearing aid manufacturers. 59% would like a less obvious hearing aid. This corresponds to the manufacturers' trend towards ITC hearing aids. In addition, 56.7% would like a more fashionable design. There only seems to be a discrepancy between the two statements until we consider that both statements express the idea that wearing a hearing aid in public should be made more pleasant and more attractive for the wearer.

It is, however, particularly important that understanding speech in noisy surroundings be improved. A total of 87.1% would like to see some progress made here. Far fewer (62.4%) would like to see an improvement in understanding speech in quiet surroundings. 71.8% would like better sound quality. Thus it should be noted that a hearing aid should not only be fitted on the basis of speech intelligibility in quiet surroundings. Fewer people (41.6%) would like battery changing to be made easier. The use of the volume control causes more problems. 64.8% would like to see a user-friendly solution. This could be achieved by means of a remote control, but it is interesting to note that 58.7% would prefer not to have such a remote control. This percentage corresponds exactly to the frequency of the desire for a less obvious hearing aid. It is possible that people do not want a remote control because it is too obvious. It is also conceivable that the extra costs or the elderly persons' feeling of insecurity about a technology they are not used to play a role here. 63.3% would like a different earmold. People most frequently complain of bad venting. They also said that the material irritated their skin, the earmold did not fit their ear, or that they felt as if they had "plugged up their ear". 70.9% would like the hearing aid and earmold to be easier to clean. Table 9 shows the suggestions to manufacturers in order of importance.

Table 9 Suggestions to manufacturers for improving hearing aids, listed in order of importance.

Suggestion	Pro in %
Understanding speech in a noisy environment	87.1
Better sound quality of the hearing aid	71.8
Hearing aid should be easier to clean	70.9
Volume control should be easier to regulate	64.8
Better transmission of music	64.1
Better earmold	63.6
Better understanding of speech in quiet surroundings	62.4
Hearing aid should be less obvious	59.0
Hearing aid should have more fashionable design	56.7
Batteries should be easier to change	41.6
Should have remote control	41.3

IV - 7.4.4.1 Comparison of the different types of hearing aids

A stratification according to hearing aid type shows that owners are more satisfied with BTE hearing aids and hearing aid glasses than with ITE hearing aids. Owners also find it easier to use BTE hearing aids and hearing aid glasses than ITE hearing aids. In addition, wearing an ITE hearing aid is felt to be more strenuous.

For a comparison of the improvement in hearing across the hearing aid types the initial values have to be taken into account. Only those groups may be compared with each other who have the same initial values without a hearing aid in the different situations. With this method there is very little difference in the performance of the different hearing aids. BTE hearing aids and hearing aid glasses tend to come off better than ITE hearing aids.

However, the answers to the questions "Should the hearing aid be less obvious?", "Should the hearing aid be more fashionable - as, for example, today's spectacles are?" stratified according to hearing aid type are of particular interest. In general, owners of BTE hearing aids and hearing aid glasses request a less obvious hearing aid more frequently than ITE hearing aid owners. A more fashionable hearing aid is most frequently desired by owners of hearing aid glasses.

IV - 7.4.4.2 Comparison between monaural and binaural fittings

Nowadays, most fittings (55%) are binaural. Sweetow (1990) ⁷ lists a number of advantages of binaural fittings, for example the improvement in signal-to-noise ratio, increase in loudness as a result of binaural summation, a greater dynamic range, better directional hearing and fewer losses in word identification. The latter can develop over several years when the fitting is monaural.

Our data enable us to compare the subjective improvement in hearing with monaural and binaural fittings in different situations. In the following analyses the data are stratified according to the individuals' response to the questions on the hearing ability without the hearing aid in different situations. It is necessary to take these initial values into account since we can assume that no great improvement can be expected with a hearing aid if the hearing ability is good (e.g. hearing in quiet surroundings without a hearing aid). See Table 10.

Table 10 The table shows hearing improvement in different situations using monaural and binaural fitting, expressed in scale units of a five-category scale from „very good“, „good“, „ok“, „bad“, „to very bad“. These data were stratified according to how well people with hearing impairment judged that they could hear without a hearing aid in these situations. Cells with fewer than four people are not shown. Cells shaded in grey indicate significant differences between monaural and binaural fittings.

Initial value: without hearing aid	well		reasonably well		with difficulty		with great difficulty	
	mon.	bin.	mon.	bin.	mon.	bin.	mon.	bin.
mon.=monaural; bin.=binaural								
Hearing in quiet surroundings	-0.10 n=20	0.36 n=33	0.89 n=67	1.14 n=100	1.58 n=36	1.97 n=60	2.25 n=4	2.67 n=34
hearing in noisy environments			0.11 n=18	0.42 n=19	0.46 n=69	0.77 n=108	0.83 n=36	1.25 n=97
recognizing voices	-0.28 n=21	-0.16 n=37	0.36 n=55	0.52 n=80	0.83 n=41	1.22 n=69	1.60 n=5	1.71 n=35

Initial value: without hearing aid	well		reasonably well		with difficulty		with great difficulty	
	mon.	bin.	mon.	bin.	mon.	bin.	mon.	bin.
mon.=monaural; bin.=binaural								
sound quality of music	-0.26 n=30	-0.43 n=37	0.49 n=65	0.61 n=88	1.13 n=23	1.61 n=59	1.75 n=4	2.25 n=36
birds singing	0.20 n=15	0.25 n=12	0.75 n=40	0.78 n=64	1.48 n=50	1.75 n=64	2.26 n=19	2.25 n=79
directional hearing	-0.37 n=8	-0.05 n=19	0.27 n=48	0.50 n=68	0.94 n=55	1.17 n=80	1.40 n=10	1.65 n=49

The results show that above all hearing in quiet surroundings and hearing in noisy surroundings are significantly better with a binaural fitting than with a monaural fitting. For the other situations there is at least a tendency towards greater improvements with binaural fittings. The results for the question "You hear a bicycle bell or a car horn. How easy is it to tell, with and without your hearing aid, which direction the sound is coming from?" are surprising. We used this question as an item for directional hearing. In this case, there is only a slight improvement with binaural fittings compared with monaural fittings. We assume that this is due to the fact that the measurement precision of this item is not sufficient to show a difference between binaural and monaural fittings in the case of directional hearing.

If people indicate good hearing ability in a situation without the hearing aid, it is understandable that the improvement in hearing ability in these situations with the hearing aid can only be slight or that even some deterioration can be observed as a result of a ceiling effect in the scaling.

IV - 7.5 Results Part II - Hierarchical Configuration Frequency Analysis (CFA)

In contrast to factor analysis, the hierarchical configuration frequency analysis (Krauth, J. & Lienert, G.A., 1973)⁸ is a nonparametric classification method which can be used for data of all levels of measurement. CFA tests whether certain configurations of variables are found more frequently than be attributed to chance. The application of this method is limited because even for a small number of variables a large number of cases is necessary. Therefore only essential variables should be included in the analysis.

In addition, CFA has the advantage that higher order interactions between variables which cannot be explained as the summation of lower order relations can be detected. This means that the relation between the variables is such that it cannot be detected with only a comparison of pairs. If any higher order relations are detected, methods based on correlations have to be interpreted cautiously as they only analyze bivariate relations.

In order to calculate the CFA, we conceived a model of consumer satisfaction with their hearing aids. The following indices are included in the model:

1. **"Improvement in hearing as a result of the hearing aid"**. We calculated a statistical measure from the differences between the answers to the questions regarding hearing with and without the hearing aid.
2. **"Use of the hearing aid"**. We calculated a statistical measure from coping with the hearing aid (Question 23), the desire for remote control, easier battery change and easier-to-use volume control (Question 49).
3. **"Strain"**. The statistical measure was calculated from strain (Question 26) and the time it took to get used to the hearing aid (Question 35a).
4. **"Bother"**. This measure was calculated from the answers to Question 8 (How much do your hearing problems bother you?).
5. **"Embarrassment"**. Embarrassment when wearing the hearing aid in public is calculated from questions 36, 47 and 48.
6. **"Satisfaction"**. This includes the answers to the direct question about satisfaction with the hearing aid (Question 10) and the question about how helpful the hearing aid is (Question 9), as well as a large number of days per week on which the hearing aid is worn (Question 29).

Before the variables were grouped together in indices, they were z-transformed, in so far as they had been calculated on different scales. Then all the measures were median dichotomized, which means the coding of the indices is reduced to "-" and "+" values. Firstly, the CFA is calculated for all possible interactions between two indices (15 CFAs), then between three indices (20 CFAs), four indices (15 CFAs), five indices (6 CFAs) and finally between all six indices. A total of 57 CFAs was calculated. Since all testing is carried out using the same set of data, the original alpha of 5% has to be adjusted to a value of 0.089%².

Table 11 shows only those interactions which are significant at the adjusted alpha value.

² The adjustment of the alpha value is calculated according to the following formula (Bortz, 1985)⁹: $\alpha = 1 - (1 - \alpha')^{1/m}$, whereby m is the number of calculated tests. In our case the initial alpha value is 5% and the number of tests is 57, which results in a new alpha value of 0.000899. This means that only chi-square values equal to or greater than 10.906 are statistically significant.

Table 11: Combinations of variables, degrees of freedom (df), chi-square values and the direction between the relation of statistically significant CFA-tables.

Combinations of indices significant at 0.089%-level in CFA-tables					df	chi-square	Direction
Improvement	Use				1	16.480	positive
Improvement		Strain			1	22.702	negative
Improvement				Satisfaction	1	90.892	positive
	Use	Strain			1	19.842	negative
	Use		Embarrassment		1	30.139	negative
	Use			Satisfaction	1	38.361	positive
		Strain	Embarrassment		1	22.702	positive
		Strain		Satisfaction	1	26.669	negative
			Embarrassment	Satisfaction	1	11.141	negative

The results of the CFA analysis show that the highest interaction (chi-square: 90.892) is between the indices "improvement" in hearing with the hearing aid and "satisfaction" with the hearing aid, i.e. satisfaction is great when the improvement is great. The second-highest interaction is between "use" and "satisfaction", followed by the interaction between "strain" and "satisfaction", as well as "embarrassment" and "satisfaction". This means that, in addition to improvement, easy use leads to greater satisfaction. "Strain" and "embarrassment" are negatively related to "satisfaction", i.e. the less strain and embarrassment the owner feels when wearing the hearing aid, the greater his satisfaction with it is.

There is no significant interaction between "satisfaction" and "bother" in this type of analysis.

Since only bivariate interactions are significant, and no higher order interactions were detected, a multiple linear regression could be calculated in order to predict satisfaction. To carry out CFA, indices were calculated by combining nominal data and interval data and median dichotomized. As a result, multiple logistic regression is the correct statistical procedure. It is used to find the relative importance of the indices calculated for the customers' satisfaction with their hearing aids.

IV - 7.6 Results Part III - Multiple Logistic Regression

The step-by-step multiple logistic regression analysis uses the same indices as above. It is used to find out to what extent the probability that an owner is satisfied with his hearing aid is dependent on other indices.

The advantage of logistic regression models is that the parameters specified in the model can be transformed into odds ratios (Kreienbrock & Schach, 1995)¹⁰. In our case, the odds ratio can be interpreted as a *factor* by which *the probability that the owner is satisfied with his hearing aid* is increased, if, for example, hearing ability is improved as a result of the hearing aid. As was expected according to the results of the CFA, "bother" does not affect "satisfaction" and therefore need not be included in a model of consumer satisfaction (Table 12).

Table 12: The table shows the level of significance of certain indices, the Odds Ratio as well as the lower (< 5%) and upper (> 5%) limit of the confidence interval at the 5 percent level.

Feature:	Level of significance	Odds Ratio	< 5%	> 5%
Improvement	< .001	4.676	3.292	6.642
Use	< .001	1.974	1.384	2.815
Strain	< .013	1.569	1.098	2.241
Embarrassment	< .027	1.499	1.047	2.147

IV - 7.7 Implications

What are the consequences of the established model of consumer satisfaction for an acoustician working in Germany?

- Firstly, the hearing aid acoustician should aim for the best possible rehabilitation of the hearing impaired person by means of an optimum choice and fitting of the hearing aid. As Table 12 shows, a person is more than 4½ times as likely to be satisfied with his hearing aid if his hearing ability improves as a result of the hearing aid. To achieve this, a fitting procedure should be used which allows for the sound quality of the hearing aid to be optimized and checked. BTE hearing aids are probably preferred by hearing aid acousticians because they normally - especially in the case of severe hearing loss - offer the greatest benefit.
- Secondly, once the performance of the hearing aid has been improved optimally, the acoustician should ensure that there are no problems with the use of the hearing aid and the insertion of the earmold. If necessary, the acoustician should offer the client guidance or even training in the use of the hearing aid. If the person's motor skills are limited, he can probably easily be convinced of the advantages of a hearing aid with remote control. BTE hearing aids also come off better than ITE hearing aids with regard to. If there are no problems with use and operation, the hearing aid owner is 2½ times as likely to be satisfied with his hearing aid than if he has such problems.
- If, after a six-week period for getting used to the hearing aid, the owner complains that he feels strain when wearing the hearing aid, then the acoustician should discuss this with the client in order to find out whether the problems lie in auditive variables, such as a distorted transmission, or in nonauditive variables, such as an allergic reaction to the earmold. This requires a great deal of psychological skill, but it is worth noting that if these problems can be solved the client is 1½ times as likely to be satisfied with his hearing aid.
- Acousticians also require psychological skill in order to find out whether the hearing aid is not worn in public because the owner finds it embarrassing. Without doubt, ITE and ITC hearing aids are a better choice because they are usually scarcely or not at all visible. Nevertheless, if the client's feeling of embarrassment is reduced, but at the same time his ability to operate the hearing aid and the quality of hearing are also reduced, he will not necessarily feel more satisfied. In such a case, it might be a good idea to have BTE hearing aids in different colors or fashionable earmolds (earmolds are already available as miniature works of art). If the hearing aid owner no longer feels embarrassed, he is 1½ times as likely to be satisfied.

It must be pointed out that these results were obtained as a group result. In practice, of course, there are likely to be individual differences in the fitting of hearing aids. It is therefore conceivable that although people are equally embarrassed about wearing their hearing aids in public, the relative importance of this for their satisfaction with their hearing aids can differ. This challenges the skills of those who fit and prescribe hearing aids. The acoustician has to take the individual needs into account when he prepares his client for the new situation of wearing a hearing aid.

The survey was carried out in a project financed by the Federal Ministry for Research and Technology (Bundesministerium für Forschung und Technologie; Förderkennzeichen 01VJ8903). The authors are responsible for the contents.

IV - 7.8 Literature

1. Kochkin, S.: MarkeTrak III: Higher Hearing Aid Sales Don't Signal Better Market Penetration. *The Hearing Journal* 1992a; 45 (7): 47-54.
2. Kochkin, S.: MarkeTrak III: Identifies Key Factors In Determining Consumer Satisfaction. *The Hearing Journal* 1992b; 45 (8): 39-44.
3. Stock, A., Fichtl, E., Knoblach, W., Boretzki, M. & Heller, O.: Über das Tragen von Hörhilfen - Ergebnis einer epidemiologischen Studie (The use of hearing aids - results of an epidemiological study). *Audiologische Akustik - Audiological Acoustics* 1995; 34 (3): 104-124.
4. Schmitt, R. & Dressen, K.: *Marktreport Hörgeräte. Tendenzen in der Versorgung von Personen mit auditiver Kommunikationsbehinderung*. Hamburg: ProMeComm, 1992: S. 9-13.
5. Kochkin, S.: Subjective Measures of Satisfaction & Benefit: Establishing Norms. Unpublished paper. 1995.
6. IFAV: *Hörgeräte zum Festbetrag. Zuzahlungsfreie Angebote und Zufriedenheit der Patienten, Ergebnisse empirischer Untersuchungen im Auftrage des Bundesministeriums für Gesundheit*. Köln. 1994.
7. Sweetow, R. W.: *Binaurale Versorgung in den USA*. 35. Internationaler Hörgeräte-Akustiker-Kongreß, Mainz. (1990). In: *Marktreport Hörgeräte. Tendenzen in der Versorgung von Personen mit auditiver Kommunikationsbehinderung*. Hamburg: ProMeComm, 1992: S. 36-41.
8. Krauth, J. & Lienert, G.A.: *Die Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA) und ihre Anwendung in Psychologie und Medizin*. Freiburg, München: Verlag Karl Alber, 1973.
9. Bortz, J.: *Lehrbuch der Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer-Verlag, 1985.
10. Kreienbock, L. & Schach, S.: *Epidemiologische Methoden*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1995.

IV - 7.9 Literature used for the construction of the questionnaire in alphabetical order

*Armbruster, J.M. & Miller, M.H.: *How to get the most out of your hearing aid*. Washington D.C.: Library of congress catalogue Card Number: 86-072948. 1981.

- *Barcham, L.J. & Stephens, S.D.G.: The use of an open-ended problems questionnaire in auditory rehabilitation. *British Journal of Audiology* 1980; 14: 49-54.
- *Chung, S.M. & Stephens, S.D.G.: Factors influencing binaural hearing aid use. *British Journal of Audiology* 1986; 20: 129-140.
- *Combs, A.: *Hearing loss help*. San Luis, California: Impact Publishers. 1986.
- *Cox, R.M. & Gilmore, C.: Development of the profile of hearing aid performance (PHAP). *Journal of Speech and Hearing Research*. 1990; 33: 343-357.
- *Ewertsen, H.W. & Birk-Nielsen, H.: Social Hearing Handicap Index. Social Handicap in Relation to Hearing Impairment. *Audiology*. 1973; 12: 180-187.
- *Giolas, T.G., Owens, E., Lamb, S.H. & Schubert, E.D.: Hearing Performance Inventory. *Journal of Speech and Hearing Disorders*. 1979; 29: 169-195.
- *Golabek, W., Nowakowska, M. Siwec, H. & Stephens, S.D.G.: Self-reported benefits of hearing aids by the hearing impaired. *British Journal of Audiology*. 1988; 22: 183-186.
- *Haggard, M.P., Foster, J.R. & Iredale, F.E.: Use and benefit of postaural aids in sensory hearing loss. *Scand. Audiol.* 1981; 10: 45-52.
- *High, W.S., Fairbanks, G., & Glorig, A.: Scale for Self-Assessment of Hearing Handicap. *Journal of Speech and Hearing Disorders*. 1964; 29(3): 215-230.
- *Noble, W.G.: The hearing measurement scale as a paper-pencil form: preliminary results. *Journal of the American Auditory Society*. 1979; 5: 95-106.
- *Walden, B.E., Schwartz, D.M., Williams, D.L., Holum-Hardegen, L. & Crowley, J.: Tests of the assumptions underlying comparative hearing Aid Evaluations. *Journal of Speech and Hearing Disorders*. 1983; 48: 264-273.
- *Walden, B.E., Demorest, M.E. & Hepler, E.L.: Self-report approach to assessing benefit derived from amplification. *Journal of Speech and Hearing Research*. 1984 27, 49-56.
- *Wayner, D. S.: *The hearing aid handbook. Clinician's Guide to Client Orientation*. Washington, D.C.: Clerk Books, Gallaudet University Press, 1990.

Addenda

I - 10 (S. 10):

Boretzki, M., Heller, O., Knoblach, W., Fichtl, E., Stock, A., Opitz, M. (1994): Untersuchungen zur Reliabilität und Sensitivität der Hörfeldaudiometrie. In: Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Fachbeiträge der 20. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik, DAGA 1994, Dresden. (als Abschnitt II - 10 diesem Bericht beigelegt)

Boretzki, M., Knoblach, W., Fichtl, E., Stock, A., May, B., Heller, O. (1996): Hörfeldaudiometrische Lauthheitsfunktionen normalhöriger Probanden. In: Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Fachbeiträge der 22. Jahrestagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik, DAGA 1996, Bonn (im Druck). (als Abschnitt II - 11 diesem Bericht beigelegt)

II - 7 (S. 56):

veröffentlicht in: Krüger, H.-P., Experimentelle Beiträge zu einer Metrik des Psychischen. Unveröffentlichte Festschrift, Otto Heller zum 65. Geburtstag, Würzburg, S. 83-92.

II - 10 (S. 78):

veröffentlicht in: Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Fachbeiträge der 20. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik, DAGA 1994, Dresden.

II - 11 (S. 83):

veröffentlicht in: Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Fachbeiträge der 22. Jahrestagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik, DAGA 1996, Bonn (im Druck).

IV - 4 (S. 30):

veröffentlicht in: DAGA '95, Saarbrücken, 195-198.

IV - 5 (S. 35):

veröffentlicht in: Audiologische Akustik, 34, 104-124.

IV - 6 (S. 59):

wird veröffentlicht in: Kollmeier, B. (Hrsg.): Psychoacoustics, Speech and Hearing aidsK. World Scientific, Singapore, 331-341.

IV - 7 (S. 69):

wird veröffentlicht in: Hearing Review Monograph: "High Performance Hearing Solutions".

Errata

IV - 2.4 (S. 20):

STOCK, A., FICHTL, E. & HELLER, O. (1995) *Positive und negative Aspekte des Hörgerätetragens - eine epidemiologische Studie*. DAGA '95, Saarbrücken, 195-198. (siehe Abschnitt IV - 4)

STOCK, A., FICHTL, E., KNOBLACH, W., BORETZKI, M. & HELLER, O. (1995) *Über das Tragen von Hörhilfen - Ergebnisse einer epidemiologischen Studie*. Audiologische Akustik, 34, 104-124. (siehe Abschnitt IV - 5)

STOCK, A., FICHTL, E. & HELLER, O. (1995) *Unauffällig und leicht zu bedienen! Hörakustik*, 10, 104-116. FICHTL, E., KNOBLACH, W., STOCK, A., BORETZKI, M., HELLER, O. (in press) *Practical benefit of hearing aids*. In Kollmeier, B. (Hrsg.): *Psychoacoustics, Speech and Hearing aidsK*. World Scientific, Singapore, 331-341. (siehe Abschnitt IV - 6)

STOCK, A., FICHTL, E. (in press) *Determinants of hearing aid satisfaction*. Hearing Review Monograph: "High Performance Hearing Solutions". (siehe Abschnitt IV - 7)