

**Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten,
plastische und ästhetische Operationen
der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. Rudolf Hagen**

**Messung der Sprachverständlichkeit mit dem HSM-Satztest
bei ein- und beidohrigem Abhören**

**Inaugural – Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg**

vorgelegt von

**Christian Steinle
aus Augsburg**

Würzburg, Juli 2008

Referent: Prof. Dr. med. Rudolf Hagen

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. dent. Josip S. Bill

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 16.01.2009

Der Promovend ist Zahnarzt und Fachzahnarzt für Oralchirurgie

Meinen Eltern in Liebe und Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Vorteile binauralen Hörens	2
1.2	Quantitatives Erfassen des binauralen Vorteils	6
1.3	Sprachaudiometrie mit Störlärm	9
1.4	Problemstellung	10
2	Material und Methoden	11
2.1	Sprachmaterial und Störgeräusch	11
2.2	Versuchsaufbau und Versuchsvorbereitung	12
2.3	Versuchspersonen	13
2.4	Versuchsplanung	14
2.5	Position der Lautsprecher und des Probanden	16
2.6	Versuchsdurchführung	17
2.7	Auswertung der Daten	18
3	Ergebnisse	23
3.1	Anpassgüte und Präzision des HSM-Tests	23
3.2	Kennwerte der Sprachverständlichkeit	23
3.3	Vergleich zwischen bin- und monauralem Hören	24
3.4	Listen- und Sequenzeffekte	25
3.5	Sensitivität	26
4	Diskussion	27
4.1	Varianz der Messwerte	27
4.2	Listen- und Sequenzeffekte	28
4.3	Lautsprecheranordnung	29
4.4	Binaurale Effekte	30
4.5	Sonstige Einflussgrößen, Fehlerquellen	32
5	Zusammenfassung	35
6	Literaturverzeichnis	37
7	Anhang - Daten der einzelnen Probanden	46

1 Einleitung

Normalhörende profitieren, ohne sich dessen im Alltag bewusst zu sein, in vielfältiger Weise vom beidohrigen Hören. Allerdings ist beidohriges Hören kein spezifisch menschliches Attribut. Mit Ausnahme bei sehr kleinen Tieren sind paarige Hörorgane in der Tierwelt weit verbreitet. Offensichtlich bietet seit Urzeiten beidohriges Hören größere Chancen für ein erfolgreiches Überleben. Auf diese Weise hat sich im Laufe der Evolution ein erstaunlich leistungsfähiger Sinn herausgebildet.

Das Gehör zu verlieren oder auch nur schlecht zu hören, ist für uns Menschen deshalb besonders schlimm, weil wir ein tief verankertes Bedürfnis verspüren, miteinander zu kommunizieren. Es wundert daher nicht, dass es zahlreiche Anstrengungen gab und immer wieder gibt, das Los der Betroffenen zu verbessern. Eine Möglichkeit mit technischen Mitteln zu helfen, bestand und besteht in der Versorgung mit Hörgeräten. Moderne Technik ermöglicht es jetzt, die Funktion eines untergegangenen Sinnesepithels in der Cochlea nachzubilden und dadurch gänzlich Ertaubten oder taub geborenen Kindern wieder Hören zu ermöglichen. Damit verbunden stellt sich die Frage, wie zuverlässig dies gelingt, wie gut beispielsweise Sprache verstanden werden kann, und ob man auf diese Weise auch wieder genussvoll Musik hören kann. Für Antworten auf diese Fragen interessieren sich ganz unterschiedliche Personengruppen: Taube und Schwerhörige wägen ab, ob ein Cochlea Implantat (CI) auch für sie eine Alternative darstellen könnte. Wissenschaftler beschäftigen sich mit diesen Fragen, um besser verstehen zu können, wie unser Gehörsinn Reize erfasst und verarbeitet. Entwickler erhalten möglicherweise Anregungen, wie sich die Geräte weiter verbessern lassen. Und schließlich fühlen sich unsere sozialen Sicherungssysteme verpflichtet, den Einsatz finanzieller Mittel der Allgemeinheit gegenüber zu rechtfertigen. Im Speziellen ergeben sich auch zur bilateralen Versorgung von hörbehinderten oder tauben Patienten ähnliche Fragen: Kann man mit zwei CIs wieder richtungshören? Kann man besser verstehen? Kann man vor allem in lärmgefüllter Umgebung, wie sie oft in geselliger Runde anzutreffen ist, besser hören? Wie lässt sich dies nachweisen und beweisen?

1.1 Vorteile binauralen Hörens

Unser Gehör ist mit erstaunlichen Fähigkeiten ausgestattet, die immer wieder überraschen; gleichgültig, ob wir mit einem oder beiden Ohren hören. Bisweilen waren deshalb von den Versuchspersonen bizarr anmutende Aufgaben zu lösen, um die Grenzen unseres Hörvermögens auszuloten. Cherry (1953) bewegte die Frage, warum wir auf einer Cocktailparty, auf der gleichzeitig mehrere Personen durcheinander reden, überhaupt etwas verstehen können. Um dieser Frage nachzugehen, ließ er von ein und demselben Sprecher zwei Abschnitte aus einem Buch vorlesen, die er mit Hilfe eines Tonbands übereinander kopierte. Dieses vermeintliche Kauderwelsch spielte er Probanden vor. Erstaunlicherweise konnten sie den größten Teil des Textes richtig heraus hören. Hierzu konnten sie auf die durch die Grammatik vorgegebenen Strukturen des Textes und ein Wissen um mögliche Wortfolgen zurückgreifen. Offensichtlich vermochten sie darüber hinaus aber auch einer einmal aufgenommenen Textspur zielsicher zu folgen. Dies mag als etwas überraschendes Beispiel dafür dienen, zu welchen komplexen, ineinander verschachtelten Verarbeitungsprozessen unser Gehirn fähig ist. In der gleichen Arbeit weist Cherry darauf hin, dass uns auch der Raum, wie er akustisch wahrgenommen wird, strukturiert erscheint. Dies helfe während der besagten Cocktailparty ebenfalls, sich unterhalten zu können. Im Weiteren wird es vor allem dieser Aspekt sein, der interessiert. Im Einzelnen werden drei Effekte näher dargestellt: der Einfluss des Kopfschattens, das redundante Hören mit zwei Ohren und der Squelch-Effekt. Alle diese Effekte helfen beim beidohrigen Hören, Sprache auch bei Vorhandensein eines Störgeräusches besser zu verstehen, als dies mit einem Ohr möglich ist (Marks 1978, Colburn et al. 1987, Bodden 1993, Welsh et al. 2004). Auch Menschen, deren Gehör beeinträchtigt ist, können diese Vorteile nutzen (Markides 1977, Dillon 2001, Palmer 2002). Tests mit bilateral versorgten CI-Trägern zeigten, dass auch sie von diesen Effekten profitieren. Eine Übersicht diesbezüglicher Arbeiten findet man in dem Artikel von Peters (2006) über die bilaterale CI-Versorgung.

Kopfschatteneffekt (Head shadow-Effekt): Der Kopf wirft bei seitlichem Einfall einen Schallschatten. Sprache und Geräusche erscheinen auf der dem Signal abgewandten Seite leiser als auf der dem Schall zugewandten Seite (Tillman et al. 1963, Markides 1977). Physikalisch gesehen ist der Kopfschatten ein Beugungseffekt. Die Größe des Kopfschatteneffektes variiert daher mit der spektralen Zusammensetzung und der Einfallrichtung des akustischen Signals (Konkle, Schwartz 1981). Für Sprachsignale und sprachähnliches Rauschen findet man bei seitlichem Einfall des Schalls einen Pegelunterschied von ungefähr 7 dB zwischen beiden Seiten.

Falls Sprache und Rauschen gemeinsam, aber aus unterschiedlichen Richtungen auf das Ohr einfallen, ist daher das Signal-Rausch-Verhältnis auf dem der Sprachquelle zugewandten Ohr besser. Ein höheres Signal-Rausch-Verhältnis bedingt eine bessere Sprachverständlichkeit, d.h. Sprache kann besser verstanden werden.

Der Kopfschatteneffekt basiert auf einem physikalischen Phänomen (Tyler et al. 2003). Überdies handelt es sich um einen monauralen Effekt. Binaurale Verarbeitungsprozesse des Gehirns, die man üblicherweise mit beidohrigem Hören verbindet, sind primär nicht involviert. Einzig das Gehirn schaltet quasi automatisch zu dem Ohr mit dem besseren Signal-Rausch-Verhältnis um und wertet bevorzugt dieses Signal. Auf diese Weise führt bei unterschiedlicher Anordnung von Sprach- und Störschallquelle der Kopfschatteneffekt zu einer besseren Sprachverständlichkeit (Cherry 1953).

Da der Kopfschatteneffekt einer physikalischen Gesetzmäßigkeit folgt, profitieren auch bilateral versorgte CI-Träger davon. Vor allem in Gesellschaft, in der man oft einen linken und rechten Nachbarn hat, kommt er voll zum Tragen. „Mit zwei CIs hat man immer ein CI auch auf der richtigen Seite“ (Müller et al. 2001).

Redundanz (Binaurale Summation): Bei beidohrigem Hören werden die Ohrsignale dem Gehirn über zwei Kanäle, also redundant, zu geführt. Der Effekt zeigt sich unverfälscht, wenn Signal und Störgeräusch von vorne aus einem einzigen Lautsprecher abgestrahlt werden. Obwohl in diesem Fall an beiden

Ohren die gleichen Signale eintreffen, erbringt binaurales Hören eine um ein bis zwei dB bessere Sprachverständlichkeitsschwelle gegenüber monauralem Hören. Vereinzelt wurden sogar drei dB gefunden (Lochner, Burger 1961). Einige Autoren sprechen in diesem Zusammenhang auch von binauraler Summation.

Lawson, Wilson et al. (1999a) haben durch Filterung des Sprachsignals dessen Spektrum kammartig in schmale Spektralbereiche zerlegt und verschiedenen Übertragungskanälen zugeordnet. Mit jedem zweiten Kanal stimulierten sie den Hörnerven auf der einen Seite und mit den restlichen Kanälen den der anderen Seite. Dadurch übertrugen sie die links und rechts zugeführten spektralen Teilbereiche so ineinander verzahnt, dass sie insgesamt das Sprachsignal vollständig repräsentierten. Erstaunlicherweise konnte das Gehirn der Probanden die so auf beide Seiten aufgeteilte Information ohne großen Verlust zusammenfügen und sinnvoll verarbeiten. Falls also zwei Cochleae unterschiedliche Schadensmuster aufweisen, was häufig der Fall sein dürfte, so ist damit zurechnen, dass CI-Patienten mehr noch als Normalhörende von den redundanten Signalen profitieren.

Squelch-Effekt: Schon vor Mitte des letzten Jahrhunderts war bekannt, dass beidohriges Hören je nach Phasenlage der Ohrsignale zu einer erstaunlich großen Rauschunterdrückung führen kann. Dies gelingt umso besser, je einfacher die Aufgabe ist. Wenn es darum geht, ein Signal im Rauschen zu entdecken, kann die binaurale Rauschunterdrückung (Binaural Masking Level Difference, BMLD) unter günstigen Umständen 25 dB überschreiten (Durlach, Colburn 1978). Wenn Eigenschaften des Signals erkannt werden müssen, so ist die Rauschunterdrückung kleiner. Wenn es darum geht, Sprache zu verstehen, ist der Gewinn am geringsten, obwohl auch hier der Effekt bei den leichter zu verstehenden Zahlwörtern größer ist als bei den schwerer zu verstehenden Einsilbern. Entsprechende Literatur hierzu haben Bronkhorst und Plomp (1988) zusammengetragen.

Koenig (1950) experimentierte in den Bell Telefon Laboratories mit binauralem Hören unter Verwendung von zwei Mikrofonen und zwei Hörern. In einem

kurzen Bericht darüber gibt er an, dass die Verwendung zweier Mikrofone geeignet war, den Störschall zu unterdrücken, „to ‚squelch‘ reverberation and background noises“. Der so benannte Effekt erleichtert die Verständigung in vielen alltäglichen Situationen. Binaurales Hören ermöglicht es auch, sich in einer Gesellschaft mit mehreren Personen, die sich alle unterhalten, auf eine nicht allzu weit entfernte Stimme zu konzentrieren und diese unter den vielen anderen herauszuhören (Wilson et al. 2003). Cherry (1953) hat dafür den Begriff „cocktail party effect“ geprägt. Der Unterschied zum Redundanzeffekt liegt darin, dass die beiden Schallquellen hier räumlich getrennt sind. Die Ohrsignale auf beiden Seiten unterscheiden sich. Wie beim Redundanzeffekt verrechnet das Gehirn die beiden Signale, aber weil sich diese jetzt von einander unterscheiden, kann es noch mehr Nutzen aus dieser Verarbeitung ziehen.

Der Squelch-Effekt ist ein binauraler Effekt, und setzt eine intakte binaurale Verarbeitung voraus. Der eben benutzte Terminus „räumlich“ lässt es nahelegend erscheinen, dass eine enge Korrelation zwischen Squelch-Effekt und dem Richtungshören besteht.

Lautheitssummation: Schallereignisse werden binaural lauter gehört als monaural (Reynolds, Stevens 1960, Scharf, Fishken 1970, Ellermeier et al. 1985 und für CI-Träger, Schaub 2005). Der Lautheitseindruck beider Ohren „summiert“ sich. Dieser Effekt lässt sich in einem einfachen Selbstversuch erleben: Hört man zunächst mit beiden Ohren und verschließt dann ein Ohr, so hört man den Reiz etwas leiser. Die Lautheit von Sinustönen und Schmalbandrauschen wird binaural ca. 1,7 Sone lauter als monaural eingeschätzt. Der Effekt zeigt sich auch an der Hör- oder Mithörschwelle. Letzteres bezeichnet die Hörschwelle in der Gegenwart von Rauschen. Die binauralen Schwellen sind tiefer. Für reine Töne und Sprache beträgt die Absenkung ca. 2-3 dB. Außerdem ist ein positiver Einfluss auf die Sprachverständlichkeit und eine subjektive Bequemlichkeit des Hörens nachgewiesen worden (Bergmann 1957, Konkle, Schwartz 1981, Shagdarsuren 2002).

Lokalisation: Normalhörende haben keine Schwierigkeiten, Richtung und Entfernung einer Schallquelle mit einer für den Alltag tauglichen Genauigkeit anzugeben. In der Laborsituation beträgt die Unsicherheit des Richtungsurteils für die Vorwärtsrichtung etwa 3,6 Grad (Blauert 1974)

Einseitig hörende Menschen haben Schwierigkeiten mit dem Richtungshören (Bess, Tharpe 1984). Die Fehler nehmen mit zunehmender Differenz der Hörleistung beider Ohren zu. Jedoch ist Richtungshören auch für Menschen mit deutlichem Hörschwellenunterschied zwischen beiden Ohren möglich, sofern der Ton auch auf dem schwächeren Ohr noch gehört werden kann (Bergmann 1957).

1.2 Quantitatives Erfassen des binauralen Vorteils

Redundanzeffekt: Wie erwähnt, versteht man, auch wenn Sprach- und Störschall von einer einzigen Quelle abgestrahlt werden, besser, wenn man mit zwei Ohren hört statt mit einem. Das Phänomen wird mit der erhöhten Redundanz beim beidohrigen Hören erklärt. Um die Größe dieses Effektes zu untersuchen, benutzt man genau diese Anordnung von Nutz- und Störschallquelle und bestimmt den Zugewinn an Verständlichkeit bei sonst unveränderten Schallparametern. Alternativ kann man auch den Unterschied in der Sprachverständlichkeitsschwelle bestimmen, also jene Änderung im Signal-Rausch-Abstand, die notwendig ist, damit man in beiden Situationen die gleiche Sprachverständlichkeit erzielt.

Binaurale Rauschunterdrückung I (ILD): Wie bereits skizziert, vermögen die bilateralen Verarbeitungsprozesse Störgeräusche mehr oder weniger zu unterdrücken, wenn sich Signal- und Störquelle an räumlich unterschiedlichen Stellen befinden. Im Zusammenhang mit dieser Arbeit interessieren Untersuchungen mit Sprache im freien Schallfeld. Beschallt wird mit Lautsprechern, die sich an unterschiedlichen Positionen in einem reflexionsarmen Raum befinden. Wegen der Boden- und Deckeneffekte der Sprachverständlichkeit benutzt man als Maß für die Rauschunterdrückung mit Vorteil Unterschiede im Signal-Rausch-Verhältnis, die sich für die verschiedenen Lokalisationen der

Schallquellen bei gleicher Verständlichkeit des Sprachsignals ergeben. Eine Übereinkunft bezüglich des Wertes der Verständlichkeit, bei dem der Vergleich durchgeführt wird, existiert bislang nicht. In Übereinstimmung mit der üblichen Definition einer physiologischen Schwelle wird jedoch zunehmend hierfür eine Verständlichkeit von 50 % gewählt. Das zugehörige Signal-Rausch-Verhältnis bezeichnet man als Sprachverständlichkeitsschwelle.

Ausgehend von einer Standardsituation werden die Unterschiede in der Sprachverständlichkeitsschwelle für unterschiedliche Lautsprecherpositionen angegeben, wofür sich auch im deutschen Schrifttum die englischsprachige Bezeichnung Intelligibility Level Difference, abgekürzt ILD, durchgesetzt hat. Um die ILD zu bestimmen, beginnt man mit einer Konfiguration, in der sich beide Schallquellen am gleichen Ort befinden. Nach dieser Messung, die für alle weiteren als Referenz dient, bewegt man nun die Schall- oder Rauschquelle um den Kopf des Probanden herum. Das Signal-Rausch-Verhältnis pegelt man jedes Mal so ein, dass das gewählte Kriterium für die Verständlichkeit erfüllt wird. Die Differenz zwischen beiden Werten ergibt die ILD. Die Art und Weise, wie die ILD gemessen wird, lässt erkennen, dass in der ILD der Einfluss des Kopfschattens enthalten ist.

Dabei werden die Quellen oft nur in der Horizontalebene bewegt, erstens, weil dadurch eine häufige Alltagssituation nachgestellt wird, und zweitens wegen der einfachen Realisierbarkeit. Um die Zahl der Variablen und damit die Anzahl der Messungen weiter einzuschränken, fixiert man häufig für alle Messungen eine der Schallquellen. Beispielsweise hat Platte (1979a), der im deutschen Sprachraum am Beitrag der Außenohrübertragungsfunktion an der ILD interessiert war, Rauschen über den hinteren Lautsprecher in der Medianebene abgestrahlt. Die gemessene ILD ist dann eine Funktion des Winkelabstandes φ der Sprachquelle. Für $\varphi=180^\circ$ nimmt sie definitionsgemäß den Wert Null an, wächst bei Platte auf 12 dB für $\pm 90^\circ$ Grad und sinkt dann wieder allmählich ab, bis sie in der Vorwärtsrichtung ein Minimum von 2,5 dB annimmt. Platte (1979b, 1979c) zitiert und diskutiert zwei ältere Arbeiten von Tønning und Plomp, die nur eine maximale ILD von 6 dB ausweisen. Dies kann als Beispiel dafür gelten,

wie sehr die Messergebnisse mit dem verwendeten Kriterium, dem Sprachmaterial, der Art des Rauschens usw. variieren können.

Ähnliche Werte wie Platte (1979a) fanden bei Normalhörenden MacKeith und Coles (1971), Platte (1979b, 1979c), Plomp und Mimpen (1981), Duquesnoy (1983), Bronkhorst und Plomp (1988), Peissig und Kollmeier (1997).

Der Wert der ILD von 12 dB erscheint verglichen mit zwei anderen Messwerten durchaus plausibel. Setzt man für den Einfluss des Kopfschattens 7 dB an und für den Gewinn aus der bilateralen Verarbeitung 4 dB, so liegt man mit der Summe von 11 dB in der angegebenen Größenordnung von 12 dB. Korrekterweise sei aber angemerkt, dass es sich hier um eine Plausibilitätsbetrachtung handelt, weil genauere Betrachtungen zeigen, dass sich beide Effekte nicht auf so einfache Weise addieren.

Binaurale Rauschunterdrückung II (BILD): Auch in diesem zweiten Abschnitt geht es weiterhin um die binaurale Rauschunterdrückung, aber nun wird durch eine zweite Messung der Beitrag des Kopfschattens eliminiert. Auch hier hat sich die englische Bezeichnung, Binaural Intelligibility Level Difference, kurz BILD, durchgesetzt. Die Bezeichnungen ILD und BILD werden aber nicht immer strikt unterschieden, oft wird BILD synonym für ILD verwendet. Gemessen wird die BILD ähnlich wie die ILD durch eine Differenzbildung zweier Pegelwerte. Einmal misst man, wie bei der ILD, die Verständlichkeitsschwelle mit beiden Ohren und wiederholt dann die Messung mit einem Ohr. Die Differenz zwischen beiden Messungen ergibt die BILD. Darin drückt sich der Gewinn aus, den die zerebrale Signalverarbeitung durch die Prozessierung der binauralen Signale zu erzielen vermag. Dabei stellt sich jedoch die Frage, welches Ohr man als Referenz auswählen sollte? Am besten natürlich beide, zunächst beispielsweise das linke und anschließend das rechte. Dann lässt sich daraus auch der Kopfschatten berechnen. Da dieser nach physikalischen Gesetzen determiniert ist, werden die stets begrenzten Ressourcen meist effizienter genutzt und man verzichtet auf eine zweite Messung. Sinnvollerweise sollte man dann das sogenannte ‚schlechtere‘ Ohr, dasjenige mit dem schlechteren, niedrigeren Signal-Rausch-Verhältnis, hinzufügen. Vor allem in der CI-Literatur bezieht man

sich oft auf den Verständlichkeitsgewinn unter dieser speziellen Bedingung, wenn man vom „Squelch-Effekt“ spricht. Bei Normalhörenden bringt der Squelch-Effekt eine Verbesserung in der Sprachverständlichkeitsschwelle von ca. 3 bis 6 dB (MacKeith und Coles 1971, Bronkhorst und Plomp 1988).

1.3 Sprachaudiometrie mit Störlärm

Um den tatsächlichen Gegebenheiten im Alltag gerecht zu werden, empfehlen Niemeyer und andere Autoren sprachaudiometrische Messungen bei gleichzeitiger Einwirkung von Störlärm (Niemeyer 1967a, 1967b, Niemeyer 1969, Groen 1969, Plath 1969). Auch Fastl (1987) votierte für eine Untersuchung im Störlärm: „Bei beginnender Schwerhörigkeit tritt eine Reduktion des Sprachverstehens zunächst meist nur in lärmgefüllter Umgebung auf. Zur quantitativen Erfassung der Probleme dieser Personen müssen Sprachverständlichkeitsmessungen bei gleichzeitiger Darbietung von Störgeräuschen durchgeführt werden“.

Dies deckt sich mit der persönlichen Erfahrung vieler Schwerhöriger, die plötzlich feststellen, dass sie einer Unterhaltung in geräuschvoller Umgebung nur noch schwer oder gar nicht folgen können (Wagener et al. 1999). Das Hörvermögen in ruhiger Umgebung ist dagegen häufig nicht oder doch deutlich weniger beeinträchtigt (Baer et al. 1993, Beattie 1989, Pedersen und Poulsen 1982).

Da man selten seinen Alltag in geräuscharmer oder gar geräuschfreier Umgebung verbringt, erscheint es zwangsläufig, dass ohne Störschall durchgeführte sprachaudiometrische Tests die vom Patienten subjektiv empfundene Situation nicht wiedergeben können (Weinstein 1984). Eine Prüfung des Sprachverständnisses unter Störlärm erscheint daher zwingend (Wagener et al. 1999).

In der Sprachaudiometrie wird eine Vielzahl von Verfahren benutzt, und nur wenige wurden bisher genormt. Dies liegt daran, dass Sprache und Verstehen von Sprache komplexe Phänomene darstellen und die Zusammenhänge bei weitem nicht in allen Einzelheiten verstanden werden. Naheliegenderweise beschäftigt man sich in den verschiedenen Labors mit unterschiedlichen Frage-

stellungen und die gewählten Verfahren werden der Problemstellung entsprechend ausgewählt und angepasst. Leider hat dies zur Konsequenz, dass Ergebnisse aus unterschiedlichen Labors nur schwer miteinander zu vergleichen sind. Hierauf haben schon Platte und vom Hövel (1980) hingewiesen.

1.4 Problemstellung

Die genannten binauralen Effekte erleichtern nachweisbar vor allem unter Störschalleinfluss die Verständigung. Nun klagen gerade Hörgeräteträger und CI-Nutzer, dass es ihnen schwerfällt, einer Unterhaltung in lauter Umgebung zu folgen. Im Zusammenhang mit der bilateralen Versorgung von CI-Patienten stellt sich daher die Frage, ob und wie sehr diese Personen von einer bilateralen Versorgung profitieren können. Sicherlich können auch CI-Träger den Kopfschatteneffekt nutzen. Unglücklicherweise kann er sich bei monauraler Versorgung sogar nachteilig auswirken, dann nämlich, wenn sich der Sprecher zufällig auf der dem CI abgewandten Seite befindet. Nur die bilaterale Versorgung garantiert, dass man stets mit einem CI auf der richtigen Seite hören kann. Da der Kopfschatten den Schall bis zu 7 dB schwächt und dadurch eine starke Änderung der Sprachverständlichkeit bewirkt, spricht dies allein schon für eine bilaterale Versorgung. Trotzdem bleibt die interessante Frage, ob auch die ‚binauralen‘ Effekte von den CI-Trägern mit Vorteil genutzt werden können. Für die Untersuchung dieser Frage bietet sich eine Methode an, bei welcher der Einfluss des Kopfschattens experimentell unterdrückt wird. Eine Versuchsanordnung, die dies leisten soll, ist die symmetrische Anordnung von vier Lautsprechern unter gleichzeitiger Verwendung des HSM-Satztests im Störschall. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Eigenschaften dieses Untersuchungsverfahrens mit einer Stichprobe Normalhörender darzulegen. Insbesondere soll gezeigt werden, wie groß der binaurale Gewinn mit dieser Methode ausfällt und mit welcher Zuverlässigkeit, gemessen am 10 %-Kriterium der Krankenkassen für die Hörgeräteversorgung, er nachgewiesen werden kann.

2 Material und Methoden

2.1 Sprachmaterial und Störgeräusch

Als Sprachmaterial dienten die Sätze aus dem HSM-Satztest, benannt nach den Autoren: Dr. Ingeborg Hochmair-Desoyer, Institut für Angewandte Physik der Universität Innsbruck, Dr. Eckhard Schulz, Firma MED-EL Deutschland und Dipl. Ing. Ludwig Moser, HNO-Klinik der Universität Würzburg. Der Test wurde speziell für wiederholte Untersuchungen von CI-Trägern entwickelt (Hochmair et al. 1995, Hochmair-Desoyer et al. 1997, Schmidt et al. 1997). Aus diesem Grunde wurde besonderer Wert auf eine große Anzahl von Testlisten gelegt, und mit Rücksicht auf die CI-Nutzer wurde eine nicht zu schnelle Aufsprache der Sätze gewählt. Der HSM-Test umfasst 30 Listen. Jede Liste beinhaltet 106 deutsche Wörter, die sich auf 20 Sätze von 3 bis 8 Wörtern Länge verteilen. Alle Listen besitzen eine identische Struktur, d.h. sie bestehen aus übereinstimmend vielen Aussage- und Fragesätzen, die an der gleichen Position auch immer die gleiche Länge haben. Zusätzlich enthält der Test drei Übungsgruppen (A, B, C), die aus je 10 Sätzen mit insgesamt 53 Wörtern bestehen. Der Schwierigkeitsgrad der Sätze entspricht dem Alltagsgebrauch der deutschen Sprache. Sie dürften schon Kindern ab dem 10. Lebensjahr bekannt sein. Die Sätze stehen untereinander in keinem Zusammenhang und die Testwörter sind phonetisch ausbalanciert. (Hochmair et al. 1995)

Da die Versuchspersonen wiederholten, was sie verstanden zu haben glaubten, handelt es sich um einen offenen Test (Tschopp 1992). Für die Auswertung zählten die richtig nachgesprochenen Wörter. Mit Hilfe der folgenden Beziehung

$$\text{Verständlichkeit} = 100\% \cdot \text{Anzahl richtig wiedergegebener Wörter} / 106$$

wird die in Prozenten angegebene Verständlichkeit einer Liste berechnet.

Der Satztest ist auf einer CD mit zusätzlichem sprachsimulierendem Rauschen nach der Empfehlung in G 227 des Comité Consultatif International Telegraphique et Telephonique (CCITT) verfügbar. Wegen des sprachähnlichen

Spektrums des CCITT-Rauschens lässt sich damit der Sprachwirrwarr einer Cocktailparty gut simulieren (Fastl 1987, Sotscheck 1985a, 1985b). Auch von Wedel (1985) schlug für vergleichende Untersuchungen CCITT-Rauschen vor. Dieses hat den weiteren Vorteil, dass es a) genormt und b) leicht zu beschaffen ist. Außerdem ist es das in der Sprachaudiometrie am häufigsten verwendete Rauschen (Ingold, Tschopp 1992).

2.2 Versuchsaufbau und Versuchsvorbereitung

Die Messungen fanden in der großen Audiometrikabine (Kabine C) der Universitäts- Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke, Würzburg, statt. Die Kabine entspricht in Ausstattung und Schalldämmung der IEC/DIN 8253a Norm. Im Einzelnen wurden folgende Geräte für die Untersuchung eingesetzt:

- Audiometer Westra Audiometer CAD - 03
- Sprachboxen Westra Audiometriebox, Typ: LAB - 501
- Geräuschboxen Westra Audiometriebox, Typ: LAB - 1001
- CD-Spieler CD-Player Philips CD 834
- Tonträger Digital Audiometer Disc Nr. 15,
Copyright 1996
Inhalt: HSM-Satztest nach Dr. I. J. Hochmair-Desoyer, Dr. E. Schulz, Dipl. Ing. L. M. Moser; Sprecher: Fabian von Klitzing
Westra Electronic GmbH, D-86637 Wertingen
- Störgeräusch CCITT Rec. G 227
- Messraum Große Audiometrikabine C, Raum 1236 der Kopfklinik der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, welche die IEC/DIN 8253a Norm erfüllt.
- Computer
- Kapselschallschutz Bilsom (Sweden) - UF 1
- Gehörschutzstöpsel aus polymerem Schaumstoff (E-A-R Classic, Aero Limited, Stockport SK12 1FJ, U.K.)

Um herauszufinden, welche Rauschpegel sich für die geplante Untersuchung eignen, wurde vorab mit zwei Probanden ein Vorversuch durchgeführt. Für einen festgehaltenen Sprachpegel von 70 dB sollten diejenigen Rauschpegel gefunden werden, für die sich die Verständlichkeitsfunktion aus den Messwerten gut rekonstruieren lässt. Die Messwerte sollten also den steil ansteigenden Teil der Verständlichkeitsfunktion abbilden. Für eine Satzverständlichkeit von ungefähr 80%, 50% und 20% ergaben sich Rauschpegel von $p_1 = 72$ dB, $p_2 = 76$ dB und $p_3 = 80$ dB bei monauraler Testung, bzw. von $p_1 = 76$ dB, $p_2 = 80$ dB und $p_3 = 84$ dB bei binauraler Testung.

Auch wurde in dem Vorversuch überprüft, ob sich die Ohren wirklich verlässlich verschließen ließen, um auf diese Weise monaurales Hören zu simulieren. Nachdem die Probanden ihr eines Ohr mit einem Ohrstöpsel E-A-R Classic der Firma Aearo Limited verschlossen hatten und auf der gleichen Seite einen Kapselschallschutz der Firma Bilsom aufgesetzt hatten, gaben sie an, auf diesem Ohr nichts mehr zu hören.

Das Audiometer wurde zusammen mit den angeschlossenen Lautsprechern kalibriert. Dazu wurde am Ort, an dem sich während der Untersuchung der Kopf des Probanden befand, mit einem Modulschallpegelmessgerät der Firma Brüel & Kjaer, Typ 2231, bestückt mit dem Mikrofon 4155, der Schalldruck gemessen.

2.3 Versuchspersonen

An der Untersuchung nahmen 24 Personen (14 weibliche, 10 männliche) teil. Das Alter der Probanden lag zwischen 23 und 32 Jahren, der Mittelwert betrug 26,2 Jahre. Eigenen Angaben zufolge stufen sich die Probanden als normalhörend ein und gaben an, keiner hätte jemals an einer Ohrenkrankheit gelitten. Alle studierten oder übten einen akademischen Beruf aus, so dass man auf ein genügend großes Verständnis für die Tests schließen durfte. Außerdem war anzunehmen, dass sie sich über einen längeren Zeitraum konzentrieren könnten. Alle Testpersonen wuchsen mit Deutsch als Muttersprache auf. Niemand verfügte über Vorerfahrungen mit Hörtests oder anderen psychoakustischen Experimenten. Der Umfang der Stichprobe schien mit 24 Probanden groß genug, um signifikante Ergebnisse erreichen zu können.

Zunächst durften sich die Probanden in der Testkabine kurz umsehen und mit der Anordnung der Lautsprecher vertraut machen. Dann wurden einige persönliche Daten erfragt und der Ablauf der Untersuchung dargestellt. Die unterschiedlichen Sitzpositionen wurden erklärt und es wurde darum gebeten, eine aufrechte Sitzposition einzunehmen und die eingenommene Stellung des Körpers und des Kopfes möglichst beizubehalten. Eine Kopfstütze sollte dies den Probanden erleichtern. Es wurde ihnen gesagt, dass jeder Satz nur einmal vorgespielt würde und sie wurden gebeten, nach Beendigung des Satzes diesen, soweit sie es vermöchten, zu wiederholen. Sie sollten, falls sie dies so gehört hätten, auch Wörter wiedergeben, die sie nicht sinnvoll in den Satz einfügen könnten. Es wurde darüber informiert, dass bei der Auswertung die richtig verstandenen Wörter ausgezählt würden. Um sie aber nicht bewusst oder unbewusst zu beeinflussen, wurden sie über das eigentliche Ziel der Untersuchungen nicht unterrichtet. Sie wurden darauf hingewiesen, dass es bei den Tests auf ihre kontinuierliche Mitarbeit ankomme, und dass die Störgeräusche so laut werden könnten, dass sie möglicherweise nichts mehr verstünden. Sie sollten sich dadurch, auch wenn dies mehrere Sätze in Folge betraf, nicht entmutigen lassen.

2.4 Versuchsplanung

Untersucht werden sollte die Sprachverständlichkeit in den folgenden drei Hörsituationen: Hören mit dem linken Ohr alleine, mit dem rechten alleine und mit beiden Ohren. In jeder Kondition sollten vier Listen abgehört werden. Aus diesen vier Messwerten sollte sich mit ausreichender Genauigkeit der Verlauf der Sprachverständlichkeitsfunktion rekonstruieren lassen. Für einen vollständigen Durchgang hatte also jeder Proband $3 \cdot 4 = 12$ Listen abzuhören. Damit Unterschiede zwischen den Probanden und Listen kontrolliert werden konnten, hörten alle Probanden die gleichen zwölf Listen ab. Von den 24 Listen des HSM-Tests wurden die ersten 12 Listen, also diejenigen mit den Nummern von 1 bis 12, verwendet.

Jeder Proband begann mit einer anderen Liste. Die Listen wurden strikt in der Reihenfolge ihrer Nummerierung vorgespielt, wobei in zyklischer Anordnung

Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Liste	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Liste	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
Liste	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
Liste	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Liste	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
Liste	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
Liste	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Liste	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
Liste	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Liste	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Liste	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liste	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Tab. 1: Zuordnung der Probanden zu den Wortlisten

nach der 12-ten Liste wieder mit der ersten Liste begonnen wurde. Der erste Proband begann mit Liste 1, der zweite mit Liste 2 und so weiter (Tab. 1). Mit dem 13. Probanden wiederholte sich dieser Turnus. Er endete mit dem 24. Probanden wieder bei Liste 12. Auch die Reihenfolge der benutzten Rausch-

Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Rauschen	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3
Rauschen	p2	p3	p1																					
Rauschen	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2
Rauschen	px																							
Rauschen	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3
Rauschen	p3	p1	p2																					
Rauschen	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1
Rauschen	px																							
Rauschen	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2
Rauschen	p1	p2	p3																					
Rauschen	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1	p3	p1	p2	p2	p3	p1
Rauschen	px																							

Tab. 2: Zuordnung der Probanden zu den Rauschpegeln. Über den Pegel px wurde an Hand der Sprachverständlichkeit der drei vorangegangenen Messungen entschieden.

pegel variiert von Messung zu Messung (Tab. 2). Bezüglich der Hörsituation wurde immer mit einer monauralen Kondition begonnen. Die eine Hälfte der Probanden hörte zunächst mit dem rechten und dann dem linken Ohr, die andere Hälfte verfuhr umgekehrt. Dadurch lassen sich Effekte, welche möglicherweise durch die Reihenfolge der Darbietung induziert werden, kontrollieren.

2.5 Position der Lautsprecher und des Probanden

Für die Darbietung des Sprach- und Rauschsignals wurden vier Lautsprecher benutzt (Abb. 1). Diese spannten ein Quadrat mit einem Umkreis von etwa einem Meter auf. Der Proband saß auf einem drehbaren Stuhl in der Mitte dieser Anordnung. Wie in der üblichen Stereoanordnung sah er zu seiner

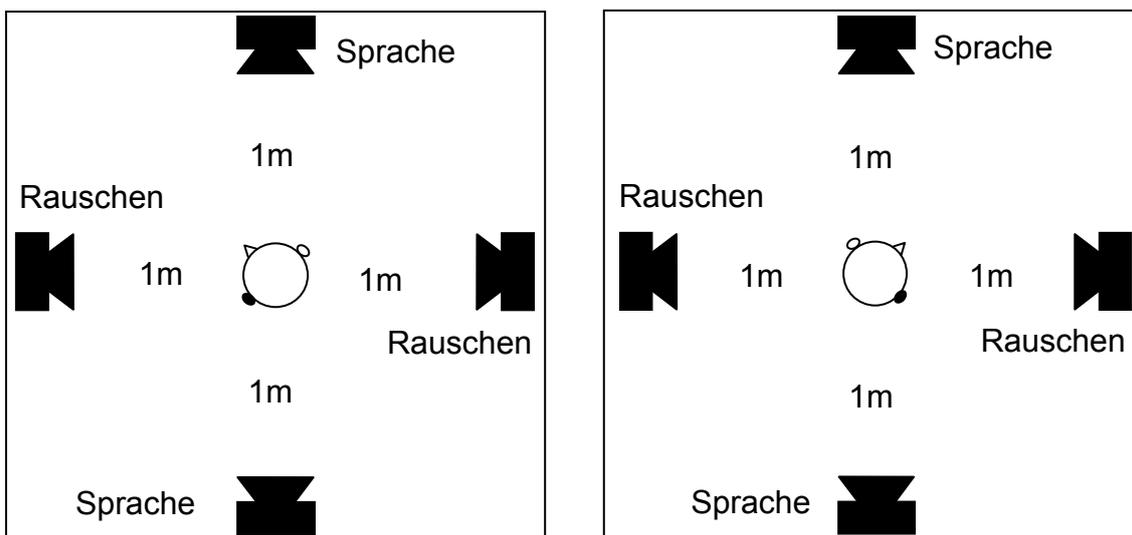


Abb. 1: Die beiden Sitzpositionen des Probanden relative zu den Lautsprechern

Rechten und Linken unter ± 45 Grad je einen Lautsprecher im Abstand von einem Meter. Einer dieser beiden Lautsprecher und sein diagonales Gegenüber strahlten das Sprachsignal ab, die beiden anderen das CCITT-Rauschen. Das Schallfeld zeichnete sich unter anderem dadurch aus, dass der Schalldruck am Ort des Probanden ein Minimum durchlief, ähnlich dem Magnetfeld eines von Helmholtzschen Spulenpaares. In diesem Minimum ändert sich der Schalldruck nur sehr wenig mit dem Ort. Dies ist insofern vorteilhaft, weil der Proband den

Kopf etwas bewegen darf, ohne dass dadurch die Ergebnisse erkennbar verfälscht würden.

Da die Lautsprecher fest verschaltet waren, so dass sowohl die Sprache als auch das Rauschen immer aus den gleichen Lautsprechern kamen, mussten sich die Probanden drehen, um in eine andere Hörposition zu kommen. Falls beispielsweise das Sprachsignal von vorne rechts nach vorne links wechseln sollte, so musste der Proband eine 90° Drehung nach rechts ausführen. Und durch eine Drehung nach links begab er sich wieder in die Ausgangsposition.

2.6 Versuchsdurchführung

Die Versuchsperson nahm zu Beginn der Untersuchung auf dem drehbaren Untersuchungsstuhl Platz. Sie verschloss das im Prüfplan ausgewiesene Ohr mit einem Gehörschutzstöpsel und der Schallschutzkapsel und simulierte damit eine monaurale Versorgung. Definitionsgemäß ist monaural das 'bessere' Ohr zu messen. Wegen der Abschattung der hinteren Rauschquellen durch die Ohrmuschel hört das offene Ohr mit dem besseren Signal-Rausch-Abstand, wenn es sich auf der gleichen Seite wie der für die Sprachwiedergabe benutzte vordere Lautsprecher befindet. Der Proband hatte sich also so zu drehen, dass er diesen Lautsprecher unter einem Winkel von 45° auf der Seite des offenen Ohres sah.

Der Proband hörte nun die drei Listen, die im Versuchsplan vorgesehen waren, bei Rauschpegeln von 72, 76 und 80 dB ab (Tab. 1 und 2). Die richtig verstandenen Wörter konnten mit der Computer-Maus auf einem Monitor markiert werden. Je nachdem, wie gut der Proband die drei Listen verstanden hatte, wurde nun über den Rauschpegel der vierten Liste entschieden, wobei die Messwerte den mittleren, linearen Bereich möglichst gut festlegen sollten. Wenn es hierfür günstig erschien, die drei vorliegenden Messwerte noch durch einen Wert im Bereich hoher Verständlichkeit zu ergänzen, dann wurde die vierte Liste mit einem Rauschpegel von 68 dB angeboten, andernfalls mit 84 dB.

Wegen der unterstellten Normalhörigkeit der Probanden war zu erwarten, dass eine Messung mit dem anderen Ohr keinen nennenswerten Informationsgewinn liefern würde. Da aber wegen der zu simulierenden einseitigen Taubheit mit

Gehörschutzstöpseln und Kapselhörschutz manipuliert werden musste, wurde eine gleichartige Messung auch mit dem anderen Ohr durchgeführt. Daran schloss sich die Untersuchung in der binauralen Kondition an. Die verwendeten Rauschpegel lagen verglichen mit den monauralen Tests um vier dB höher.

2.7 Auswertung der Daten

Für jeden Probanden lagen am Ende der Untersuchung unter den Bedingungen bin- und monauralen Hörens Messwerte der Sprachverständlichkeit bei jeweils vier verschiedenen Rauschpegeln vor. Das weitere Vorgehen basierte auf der folgenden modellhaften Sicht: Zwischen der Sprachverständlichkeit und dem Signal-Rausch-Verhältnis besteht ein funktionaler Zusammenhang, dem zufallsbedingte Schwankungen überlagert sind. Da für die Sprachverständlichkeitsfunktion bislang keine theoretisch begründete Formulierung existiert, musste man auf eine Modellfunktion zurückgreifen, welche die Abhängigkeit der Verständlichkeit vom Signal-Rausch-Verhältnis möglichst gut approximiert. Die Sprachverständlichkeit steigt von 0 auf 100 % sigmoidförmig an. Ähnlich verhalten sich die Normal- und die logistische Verteilung. Schmidt et al. (1997) hatten sich für die logistische Funktion entschieden. Da nichts gegen diese Wahl sprach, wurde sie auch in dieser Arbeit benutzt. Allerdings wurde hier eine Formulierung mit Hilfe des Tangens hyperbolicus benutzt, welche mathematisch äquivalent ist, aber den Vorteil hat, dass sich Lage und Steigung der Lautheitsfunktion direkt in den Parametern abbilden.

$$y(x) = 100 (1 + \tanh (a (x - x_0))) / 2$$

Die Symbole haben die folgende Bedeutung:

y(x):	Modellvorhersage der Verständlichkeit in Prozent
x:	Signal-Rausch-Abstand / dB des Sprachsignals
a:	50·a = Steigung der Sprachverständlichkeitsfunktion an der Sprachverständlichkeitsschwelle (x=x ₀) in Prozent pro dB
x ₀ :	Sprachverständlichkeitsschwelle (SRT) / dB

Um die zufälligen Schwankungen der Messwerte abbilden zu können, wurde das Modell um einen additiven Fehlerterm ϵ erweitert:

$$y(x) = 50 (1 + \tanh (a (x_i - x_0))) + \varepsilon$$

Der Fehler ε schwankt in seinem Wert von Messwert zu Messwert. In der statistisch-mathematischen Literatur ist es üblich, solche Abhängigkeiten explizit in den Beziehungen zu formulieren. Darauf wurde verzichtet, da noch einige zusätzliche Terme eingefügt werden müssen, und daher zu befürchten war, dass die Darstellung durch die vielen Indizes zu unübersichtlich würde.

Für das weitere Vorgehen musste noch festgelegt werden, welche Variablen später einem statistischen Testverfahren unterzogen werden sollten. Wegen der Zielsetzung betraf dies auf jeden Fall den zu erwartenden Unterschied zwischen ein- und beidohrigem Hören. Außerdem schien es sinnvoll, nach Unterschieden zwischen den Probanden, Listen und nach Sequenzeffekten zu fahnden.

Eine leichter verständliche Liste liefert einen höheren Wert der Verständlichkeit bei gleichem Signal-Rausch-Abstand. Auch Sequenzeffekte schlagen sich in den Verständlichkeitswerten nieder. Würde man die Größe des Effekts in jedem Einzelfall kennen, so würde man die Daten zunächst dahingehend korrigieren und erst danach die Modellfunktion anpassen. Auf Grund dieser Überlegung wurden die Größen S und L, durch welche die Sequenz- und Listeneffekte berücksichtigt werden, additiv in das Modell eingeführt:

$$y(x) = 50 (1 + \tanh (a (x_i - x_0))) + S + L + \varepsilon$$

Auf Grund der vielen Stufen der einzelnen Faktoren käme ein vollständiges Modell auf mehrere Tausend Freiheitsgrade. 288 Messungen bilden verglichen damit nur eine bescheidene Untermenge. Daraus folgt, dass nicht alle Effekte aus den Messwerten bestimmbar sind. Vor allem trifft diese Feststellung auf die sehr zahlreichen Interaktionen zu. Noch am plausibelsten schien es, die Interaktionen S-L zu formulieren, da für S pro Proband ein vollständiger Datensatz vorlag. Eine vorab in R durchgeführte Analyse wies, a) die Interaktionen als nicht signifikant aus, und b) unterschied sich die Fehlervarianz zwischen einem Modell mit und ohne Interaktionen nur unwesentlich. In einem Modell, das Interaktionen berücksichtigt, verliert der Fehlerterm $(12-1)(12-1) = 121$ Freiheitsgrade. Es ist daher wenig sinnvoll, das Modell mit vernachlässigbar kleinen Interaktionen aufzublähen. Weil bei der Modellwahl ohne Interaktionen der

Parametervektor akzeptabel klein blieb, konnten vorteilhafterweise wesentliche Teile der statistischen Analyse in Excel durchgeführt werden.

Eventuelle Interaktionen, wozu man auch solche mit der Variablen Proband rechnen muss, gehen in dem zu Grunde gelegten Modell in die ‚Fehlervarianz‘ ein. Dies ist eine allgemein bekannte Konsequenz der Entwürfe mit Messwiederholung.

Die statistischen Tests fielen infolgedessen konservativ aus. So weit sich die einzelnen Varianzbeiträge direkt aus den Excelspalten berechnen ließen, wurden diese wie in der Varianzanalyse üblich, auf Signifikanz mit der F-Verteilung geprüft. Spezielle Tests wurden in dem Statistikpaket R (R Development Core Team, 2005) ausgeführt. Für alle Tests wurde ein einheitliches Signifikanzniveau von 5 % gewählt.

Ein letztes Problem bedarf noch der Erörterung. Von jedem Probanden liegen, den drei Hörsituationen entsprechend, drei Datensätze vor. Die Anpassung des Modells liefert ganz im Sinne der Zielsetzung für jeden Datensatz eine Sprachverständlichkeitsschwelle x_0 . Beim Steigungsparameter a drängt sich jedoch die Frage auf: Soll man für jeden einzelnen Datensatz einen speziellen Wert des Steigungsparameters a berechnen? Das hieße, man unterstellt, dass sich jeder Proband unterschiedlich verhält, je nachdem, ob er mit dem linken, dem rechten oder mit beiden Ohren hört. Oder sollte man für jeden Probanden einen gemeinsamen Wert anstreben? Da sich die Modellfunktion für jede Messung auf nur vier Messwerte stützt, war zu befürchten, dass Ausreißer den Verlauf der angepassten Sprachverständlichkeit in nicht erwünschter Weise beeinflussen könnten. Eine vorgezogene Auswertung zeigte im Kruskal-Wallis Test zwischen den drei Hörsituationen keine signifikanten Unterschiede ($p = 0.91$). Da das feinere Modell auch sonst keinen Gewinn erbrachte, eher das Gegenteil zutraf, schien es vorteilhafter, den Wert für die geschätzte Steigung auf alle zwölf vorhandenen Messwerte zu stützen und für jeden Probanden einen gemeinsamen Wert zu errechnen. MacKeith und Coles (1971) verwendeten für die Auswertung der Ergebnisse aus einer ähnlichen Versuchsanordnung eine einmal gefertigte Schablone. Das entspricht verschärft unserem Vorgehen mit den Möglichkeiten der damaligen Zeit.

Bilateraler Hörgewinn: Um zu entscheiden, ob die Probanden mit zwei Ohren besser oder schlechter als mit einem hören, wurden für jeden Probanden die beiden monaural ermittelten Schwellen gemittelt, und danach die Differenz der Sprachverständlichkeitsschwellen zwischen diesem Mittelwert und der bilateral bestimmten Schwelle berechnet. Eine positive Differenz weist auf einen Gewinn, einen Vorteil des bilateralen Hörens hin. Auf Grund der speziellen Datenlage, alle Probanden profitierten vom beidseitigen Hören, wurde mit Hilfe des verteilungsfreien und einfach zu berechneten Vorzeichentests auf Signifikanz entschieden.

Es ist denkbar, dass es nicht immer gelang, bei der Messung mit einem Ohr den Schall so perfekt zu dämpfen, dass dadurch beidohriges Hören vollständig unterdrückt worden wäre. Aus diesem Grunde wurde für den beidohrigen Hörgewinn ein zweiter Kennwert berechnet. Da ein schlecht abgedichtetes Ohr den beidohrigen Hörgewinn kleiner erscheinen lässt, wurde alternativ der bilaterale Gewinn für jedes einzelne Ohr berechnet und der größere von beiden Werten genommen.

Probandenunterschiede: Die Probanden können sich auf zweierlei Weise unterscheiden. Zum einen könnten einige verglichen mit anderen bessere Sprachverständlichkeitsschwellen erreichen. Zum anderen könnten manche, wenn man sie als „Messinstrument“ betrachtet, präzisere, weniger streuende Messwerte als der Rest liefern. Solche Unterschiede im Verhalten der Probanden sollten sich am sichersten an den Werten für das beidohrige Hören nachweisen lassen. Die Messungen sind nicht durch Manipulationen an den Ohren belastet, und die Probanden hören in dieser Kondition in einer ihnen vertrauten Weise. Dies lässt eine besonders homogene und enge Verteilung der Messwerte in dieser Kondition erwarten, wodurch der beabsichtigte multiple Mittelwertsvergleich an Empfindlichkeit gewinnt. Als Ausgangsbasis dienten die jeweils vier Messwerte pro Proband, die in dieser Kondition erhoben wurden. Mit den um Listen- und Sequenzeffekte bereinigten Werten wurde mit der inversen Tangens hyperbolicus Funktion für jeden gemessenen Verständlichkeitswert die Sprachverständlichkeitsschwelle berechnet. Diese Stichprobe wurde dem verteilungsfrei arbeitenden Kruskal Wallis Test unterworfen.

Die Frage, ob die Probanden gleich präzise urteilen, wurde mit dem Bartlett Test untersucht, indem die nach Probanden gruppierten Residuen auf Varianzgleichheit getestet wurden.

Durchführung der Approximation: Mit plausibel gewählten Anfangswerten für die Modellparameter wurde in Excel für jeden Messwert und dem dazugehörigen Signal-Rausch-Abstand der Wert der Modellfunktion und das daraus resultierende Residuum berechnet. Die quadrierten Residuen ließen sich in einer Zelle zur Summe der Abweichungsquadrate addieren. Die von Excel bereitgestellte Funktion ‚Solve‘ optimierte dann den übergebenen Satz von Modellparametern in der Weise, dass die Summe der Abweichungsquadrate minimiert wurde.

Praxisbezug: Die Krankenkassen verlangen, falls sie die Kosten für eine binaurale Hörgeräteversorgung übernehmen sollen, den Nachweis, dass ein zweites Hörgerät das Sprachverstehen um mindestens 10 Prozentpunkte verbessert. In der Praxis ist dieser Nachweis anscheinend nur schwierig zu führen. Beispielsweise entnimmt man der Diplomarbeit von Harten (2000) aus der FH Lübeck, dass er durch die in der DIN EN ISO 8253-3 vorgeschriebenen Untersuchung nur schwer zu erbringen ist. Wesselkamp et al. (1997) maßen bei Hörgeräteträgern eine BILD von nur einem dB. Daher liegt die Frage nahe, mit welcher Wahrscheinlichkeit die beschriebene Versuchsanordnung einen solchen Gewinn aufzuzeigen vermag. Zunächst liefert die Verständlichkeitsfunktion denjenigen Pegelunterschied, der zehn Prozentpunkte Verständlichkeitsgewinn bewirkt. Außerdem lässt sich aus den gemessenen 48 Werten für den binauralen Gewinn dessen Verteilung schätzen und damit auf die gesuchte Wahrscheinlichkeit schließen.

3 Ergebnisse

3.1 Anpassgüte und Präzision des HSM-Tests

Schon die graphische Darstellung der Messergebnisse, Abb. 2, lässt erkennen, dass die Anpassung an den Tangens hyperbolicus gegenüber einem konstanten Schätzer unzweifelhaft den Vorzug verdient ($p=1E-109$). Für jeden Probanden und jede Kondition, nämlich allein mit dem linken, dem rechten oder mit beiden Ohren hören, lagen vier Messwerte vor. Bei 24 Probanden und drei Konditionen kann sich die Auswertung also insgesamt auf 288 Messwerte stützen.

Wie im Methodenteil beschrieben, wurde die Summe der Abweichungsquadrate minimiert. Die so erhaltene Summe der Abweichungsquadrate stellt ein Maß für die Güte der Anpassung dar. Gemessen an der daraus berechneten Standardabweichung streuten die gemessenen Verständlichkeiten pro Liste um etwa 5 Prozentpunkte. Der HSM-Test arbeitete also mindestens mit dieser Präzision, da eventuell vorhandene systematische Abweichungen zwischen Modell- und Sprachverständlichkeitsfunktion in diesem Wert enthalten sind.

Allerdings urteilen nicht alle Probanden gleich präzise. Im Bartlett Test auf Gleichheit der Varianzen zeigten sich in den Residuen signifikante Unterschiede zwischen den Probanden ($p= 9E-4$). Beim besten Proband streuen die Werte um zwei Prozentpunkte, beim schlechtesten um neun.

3.2 Kennwerte der Sprachverständlichkeit

Der Anpassungsprozess lieferte Werte für die Steigung und die Sprachverständlichkeitsschwelle. Für die Steigung ergab sich, dass im Mittel die Verständlichkeit nahe bei 50 % mit wachsendem Signal-Rausch-Verhältnis um $10,6 \% \pm 1,7 \%$ pro dB zunahm.

Die durchschnittliche Sprachverständlichkeitsschwelle lag bei monauraler Testung für das rechte Ohr bei einem Signal-Rausch-Verhältnis von -6,9 dB und bei -7,0 dB für das linke. Der Unterschied zwischen den beiden Seiten ist nicht signifikant (Wilcoxon, $p = 0.3$). Die binaural gemessene Sprachverständ-

lichkeitsschwelle errechnete sich zu -10,2 dB. Graphen aller Einzelmessungen finden sich im Anhang.

Die Standardabweichung für die Sprachverständlichkeitsschwelle gemittelt über alle Probanden liegt für die beiden monauralen Versuchsbedingungen bei 1,1 bzw. 1,4 dB. Der Unterschied ist nicht signifikant (Bartlett Test: $p = 0.26$). Die Standardabweichung für die Sprachverständlichkeitsschwelle für binaurales Hören liegt mit 1,2 dB in der Mitte zwischen den beiden obigen Werten. An dieser Stichprobe wurde außerdem untersucht, ob systematische Unterschiede zwischen den Patienten sichtbar werden. Für die zu diesem Zweck allein analysierten Sprachverständlichkeitsschwellen des binaurales Hörens traf dies zu (Kruskal Wallis Test: $p = 5,7E-5$). Die beste Schwelle mit -12,3 dB erreichte der Proband mit der internen Kennung 3 und die schlechteste mit -8.0 dB der Proband mit der Kennung 15.

3.3 Vergleich zwischen bin- und monauralem Hören

Die drei errechneten Sprachverständlichkeitsschwellen erlauben einen Vergleich zwischen monauralem und binauralem Hören. Alle Probanden erzielten binaural eine niedrigere Sprachverständlichkeitsschwelle als monaural. Damit erwies sich der Unterschied bei 24 Probanden im verteilungsunabhängigen Vorzeichenstest als hochsignifikant ($p = 6E-8$). Gemittelt über alle 24 Probanden stellt die Abb. 2 die Satzverständlichkeit für binaurales und monaurales Hören in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Verhältnis dar. Für die Darstellung der Graphen wurden die Parameterwerte über alle Probanden hinweg gemittelt. Anschließend wurde die Modellfunktion mit diesen mittleren Werten berechnet. Ergänzend ist für jeden Pegel auch das Mittel der Messwerte dargestellt. Die Fehlerbalken geben den Fehler des Mittelwertes an. Da die Schwellen in der Stichprobe nur etwa um 1 dB streuen, bleiben die theoretisch begründbaren Verzerrungen für die Mittelwerte unbedeutend klein und kaum erkennbar.

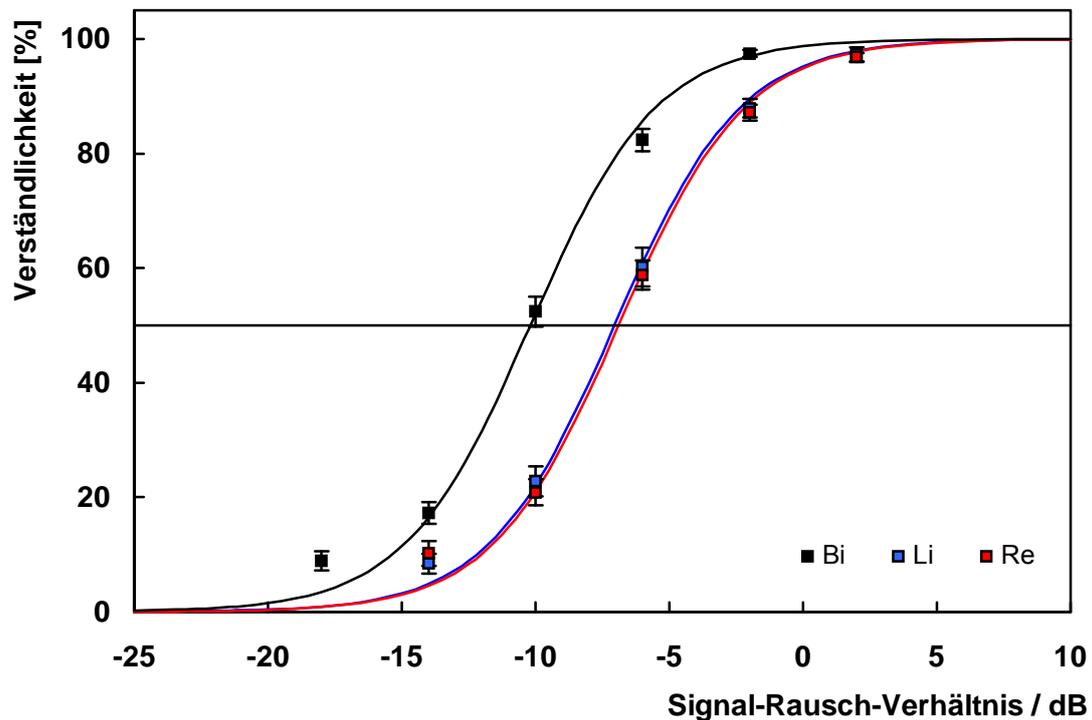


Abb. 2: Mittlere Lautheitsfunktion bei ein- und beidohrigem Hören

Der bilaterale Gewinn bemisst sich auf $3,2 \pm 0,22$ dB. In der alternativen Auswertung, in der für jeden Probanden der höhere, monaural gemessene Wert genommen wurde, vergrößert sich der bilaterale Gewinn geringfügig auf $3,9 \pm 0,21$ dB. Die Varianz darf als gleich groß angesehen werden.

3.4 Listen- und Sequenzeffekte

Der Vergleich der Listen, ohne dass der Einfluss der anderen Variablen eliminiert wird, lässt keine unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade erkennen. Wurde die Konfundierung mit den Sequenzeffekten in der mehrfaktoriellen Varianzanalyse aufgehoben, so wurden die Haupteffekte signifikant (Sequenzeffekte: $p=3E-5$, Listeneffekte: $p=7E-6$, normalverteilte Residuen: $p=0.1501$). Maximal verständlich ist die Liste zwei. Der Unterschied zum Mittel beträgt 7,8 %. Ein Sequenzeffekt zeigt sich in der Verständlichkeit der ersten vorgespielten Liste. Für sie erreichen die Probanden eine um 6,2 % schlechtere Verständlichkeit als im Durchschnitt.

3.5 Sensitivität

Mit welcher Wahrscheinlichkeit sich ein 10 Prozentpunkte großer Verständlichkeitsgewinn mit der gewählten Versuchsanordnung nachweisen ließ, kann mit Hilfe der Abb. 3 direkt abgeschätzt werden. Da die gemessene Steigung der Verständlichkeitsfunktion zufällig gerade ca. 10 Prozent/dB beträgt, ist ein Zugewinn von 10 % äquivalent zu einer Schwellenverschiebung von 1 dB.

Abb. 3 stellt die 48 Messwerte auf der Ordinate über einer nach der Normalverteilung verzerrten Abszisse dar (Gauß Papier). Unterhalb von 1 dB liegen zwei Messwerte. Für diese beiden hätte der Test versagt. Rechnet man durch die Messpunkte eine Ausgleichsgerade wie in Abb. 3, legt der Auswertung also eine Normalverteilung zu Grunde, so ergibt sich eine statistisch etwas besser abgesicherte Erfolgswahrscheinlichkeit von 95 %.

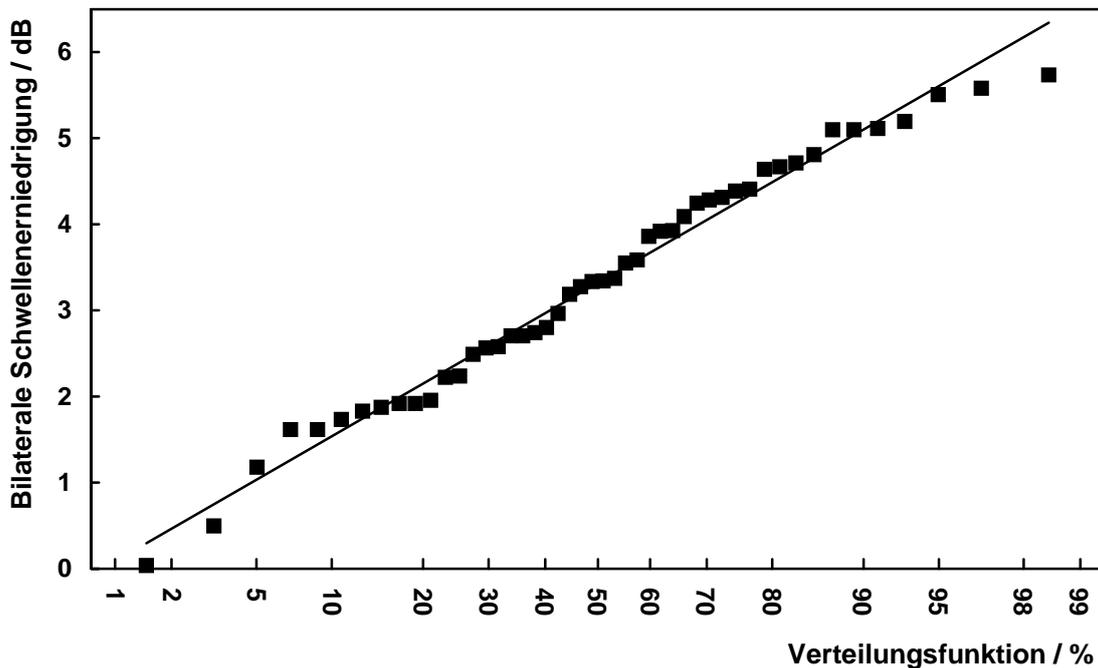


Abb. 3: Verteilung des Bilateralen Gewinns in dB, gemessen für jede einzelne Seite.
Darstellung im ‚Gauß Papier‘

4 Diskussion

4.1 Varianz der Messwerte

Sprachverständlichkeitsmessungen gelten als aufwändig. Das liegt daran, dass die gemessene Verständlichkeit einzelner Wörter oder Sätze eine große Variabilität aufweist. Messungen an wenigen Wörtern oder Sätzen sind oft mit großen Schwankungen behaftet und liefern daher nicht die gewünschten Informationen. Man ist deshalb zu mehr Aufwand gezwungen. Messungen sind mehrfach zu wiederholen, und die Ergebnisse sind zu einem repräsentativen Wert zu verdichten. Die Statistik lehrt, dass die Streuung im Trend mit der Wurzel aus der Anzahl der Einzelmessungen abnimmt. Der hundertfache Aufwand wird also nur mit einer zehnfach kleineren Streuung belohnt. Dauert die Einzelmessung eine Sekunde, so ist eine Ausdehnung auf 100 Sekunden nicht sehr schmerzlich. Dauert die Messung eine Minute, so ist mit 100 Minuten für viele Anwendungen die Grenze des Zumutbaren erreicht oder überschritten. Oft resultiert deshalb aus Verständlichkeitsmessungen das unbefriedigende Gefühl, dass Aufwand und Ergebnis in einem Missverhältnis stünden.

Schaut man die im Anhang wiedergegebenen Diagramme an, dann fällt auf, dass die ermittelten Verständlichkeitsfunktionen für das linke und rechte Ohr teilweise weit auseinander liegen. Im Ergebnisteil wurde die Streuung für die Sprachverständlichkeitsschwellen mit Werten zwischen 1,1 dB und 1,5 dB angegeben, wobei allerdings in diesen Werten noch Varianzanteile enthalten sind, die von Unterschieden zwischen den Probanden herrühren. Ohne diese Anteile verringert sich die Streuung auf 0,8 dB. Hiernach würden die einzelnen Probanden sehr homogen und mit einer für viele Untersuchungen augenscheinlich ausreichenden Genauigkeit urteilen.

Es wurden für 24 Probanden je drei Sprachverständlichkeitsschwellen gemessen, also insgesamt 72. Man darf davon ausgehen, dass man Ereignisse beobachten wird, denen eine Wahrscheinlichkeit von $p = 1/72 = 0,014$ zukommt. Unterstellt man der Einfachheit halber eine Normalverteilung der Werte, dann liegen Werte mit dieser oder kleinerer Wahrscheinlichkeit mehr als $2,2 \sigma$ vom Nullpunkt entfernt. Ausgehend von einem Wert für die Streuung von 0,8 dB

dürfte also eine maximale Abweichung von 1,8 dB, bzw. eine von 2,5 dB für die Differenz zwischen den Werten der Schwelle für das linke und rechte Ohr auftreten. Die Streuung der Differenz ist um $\sqrt{2}$ größer, weil sich die Varianzen bei der Differenzbildung addieren.

Der bilaterale Gewinn fiel im Mittel etwas kleiner als 3,5 dB aus. In diesem engen Fenster von wenigen dB fallen Abweichungen, die bis an 2,5 dB heranreichen, in der graphischen Darstellung natürlich auf. Die Daten werden wegen des gewählten Maßstabs quasi wie unter einer Lupe präsentiert.

Betrachtet man sich die Verteilung der Differenzen der Sprachverständlichkeitsschwellen zwischen linker und rechter Seite in einer graphischen Darstellung, ähnlich der von Abb. 3, so entdeckt man drei Punkte mit den Werten 2,9 dB, 3,0 dB und 3,5 dB, die oberhalb des Grenzwertes von 2,5 dB und oberhalb der die Normalverteilung repräsentierenden Geraden liegen. Sie präsentieren sich damit als typische Ausreißer. Trotzdem kann es sich bei diesen Werten um Zufallsereignisse handeln, wahrscheinlicher aber ist, dass sie auf eine mangelhafte Schalldämmung zurückzuführen sind (MacKeith und Coles 1971).

4.2 Listen- und Sequenzeffekte

Ein Vergleich der Listen ohne Elimination der Listen- und Sequenzeffekte deckte keine unterschiedliche Verständlichkeit zwischen den Listen auf. Das Gleiche schließen Delle (2002) und Zimmermann (2000) aus ihren Untersuchungen. Wurde allerdings die Konfundierung mit den beiden Effekten in der zweifaktoriellen Varianzanalyse aufgehoben, so wurden die Unterschiede signifikant. Es ist wie bei Delle die Liste 2, die durch eine bessere Verständlichkeit auffällt.

Es zeigte sich dann auch, dass die jeweils erste abgehörte Liste schlechter verstanden wurde. Anscheinend hörten sich Probanden in den Test ein. Viele Autoren benutzen oder schlagen zur Eingewöhnung deshalb mindestens eine Übungsliste vor, z.B. OLSA, Handbuch und Hintergrundwissen für den Oldenburger Sprachtest (2000).

4.3 Lautsprecheranordnung

Ziel der Untersuchung war, auf robuste Weise denjenigen Vorteil des beidohrigen Hörens zu erfassen, der sich auf die simultane Verarbeitung der Informationen beider Ohren gründet. Da der Kopf einen Schallschatten wirft, kann, wenn Stör- und Signalquelle im Raum günstig verteilt sind, das im Schallschatten der Störquelle liegende Ohr von einem besseren Signal-Rausch-Verhältnis profitieren (Kopfschatteneffekt). Soweit ist dies ein rein monauraler und in seiner Größe physikalisch vorhersagbarer Effekt. Setzt man den Kopfschatten bei seitlichem Einfall mit etwa sieben dB an, so entnimmt man der Abb. 2 eine Verständlichkeitssteigerung um ca. 70 Prozentpunkte. Der Kopfschatten ist also keineswegs ein unbedeutender Effekt. Ganz im Gegenteil, im Rahmen einer gesellschaftlichen Veranstaltung kann er ganz erheblich zu einer besseren Verständigung beitragen oder diese überhaupt erst ermöglichen. Unabhängig davon war der Focus dieser Untersuchung anders ausgerichtet. Der Einfluss des Kopfschattens sollte gerade ausgeschaltet werden, damit die binauralen Effekte umso deutlicher in den Vordergrund treten konnten.

Wenn der Kopf vollkommen symmetrisch, also kugelförmig wäre, dann träfen in der benutzten Lautsprecheranordnung an beiden Ohren genau gleiche Signale ein. In der spiegelbildlichen Anordnung würde es keinen Unterschied machen, dass sie einmal von vorne und einmal von hinten kämen. Eine Konfiguration, bei der Sprache und Rauschen aus einem einzigen Lautsprecher in der Mitte abgestrahlt würden, sollte gleich verständlich sein. In Wirklichkeit ist die Symmetrie nicht vollkommen. Die vom Kopf abstehenden Ohrmuscheln erzeugen für von vorne einfallenden Schall mit Hilfe der Mulden lineare spektrale Verzerrungen, die für das Richtungshören ausgewertet werden. Auch der von hinten einfallende Schall ändert frequenzabhängig seine Intensität, wobei für die hohen Frequenzen die Abschattung effektiver ist. Das bedeutet: Für das Ohr auf der Seite der Sprachquelle verbessert sich das Signal-Rausch-Verhältnis ein wenig, das Ohr wird zum 'besseren', für das Ohr auf der Gegenseite gilt das Umgekehrte. Man fügt also, wenn man den bilateralen Gewinn ermittelt, ein schlechteres Ohr hinzu, als es der Fall wäre, wenn der Kopf vollkommen symmetrisch wäre. Die Abschattung durch die Ohrmuschel führt in den

durchgeführten Messungen nicht zu einem artifiziell vergrößerten bilateralen Gewinn.

4.4 Binaurale Effekte

In qualitativer Übereinstimmung mit vielen anderen Autoren (Carhart 1965, Dirks und Wilson 1969, MacKeith und Coles 1971, Butler 1969, Gardner 1973, Bronkhorst und Plomp 1989) zeigt sich auch in der hier verwendeten Anordnung der Schallquellen ein Vorteil des binauralen Hörens gegenüber dem Hören mit nur einem Ohr. Viele Untersuchungen zu dieser Thematik wurden mit Kopfhörern durchgeführt. Sieht man von den modernen Untersuchungen mit kopfbezogenen Übertragungsfunktionen ab, dann besteht der Unterschied zu Untersuchungen im Freifeld darin, dass in den Experimenten mit Kopfhörern das Schallereignis im Kopf lokalisiert wird und die beiden Ohrsignale in der Regel in etwa die gleiche Lautstärke haben. Im Freifeld dagegen können sich die Ohrsignale wegen des Kopfschattens im Signal-Rausch-Abstand ganz beträchtlich unterscheiden. Verglichen wird daher meist zwischen dem Hören mit beiden Ohren und dem Hören, wenn das 'schlechtere' Ohr hinzugenommen wird, unbeschadet der Tatsache, dass man unter Umständen mit diesem Ohr alleine nur sehr wenig verstehen kann.

Da die symmetrische Lautsprecheranordnung eine Abschattung durch den Kopf weitgehend unterdrückt, eignen sich zum Vergleich nur Arbeiten, welche einen bilateralen Gewinn ohne Kopfschatten, eine BILD im engeren Sinne oder einen Squelch-Effekt ausweisen. Trotzdem bleiben noch genügend Variationsmöglichkeiten in der Versuchsdurchführung, die bedeutende Unterschiede in den Ergebnissen bewirken können. Dazu gehören der Einfluss des Sprachmaterials, die Definition des Schwellenkriteriums und die Art des verdeckenden Rauschens (Platte 1979b, 1979c).

MacKeith und Coles (1971) maßen ebenfalls im Freifeld. Zunächst dämmten sie das auszuschaltende Ohr mit einem Kapselgehörschutz, stellten aber fest, dass es damit nicht gelang, das binaurale Hören gänzlich zu unterdrücken. In einem nachfolgenden Experiment, dessen Ergebnisse hier zitiert werden, vertäubten sie das Ohr zusätzlich mit einem Einsteckhörer. Für fünf untersuchte räumliche

Anordnungen von Schall- und Rauschquelle bei 64 möglichen fanden sie im Mittel einen Squelch-Effekt von $3,0 \pm 0,3$ dB.

In einer sehr frühen Arbeit zu diesem Thema fand Carhart (1965) einen binauralen Gewinn (BILD) von knapp unter 3 dB. Das liegt nur wenig unter dem kleineren der beiden Werte aus der vorliegenden Untersuchung von 3,3 dB. Bronkhorst und Plomp (1988) simulierten Freifeldbedingungen, indem sie die Probanden zwar über Kopfhörer beschallten, die Signale aber über einen KEMAR Kunstkopf aufgenommen haben. Aus ihren Daten errechnet sich ein Squelch-Effekt für Sprache von vorne und Rauschen von der Seite von 2,5 dB. Pirilä (1991) hat BILD-Werte von 3,9 bis 5,1 dB gemessen. Holube (1993) hat an Normalhörenden mit Kopfhörern unter simulierten Freifeldbedingungen etwa 3 dB Hörgewinn zwischen monauraler und binauraler Kondition gefunden. Wesselkamp et al. (1997) fanden in Messungen an Normalhörenden mit einer räumlichen Anordnung der Lautsprecher im Winkel von $\pm 45^\circ$ bezogen auf die Blickrichtung sogar nur einen BILD-Wert von 1 dB.

Vergleich mit CI-Nutzern:

Unseres Wissens wurden mit der benutzten Lautsprecheranordnung bisher nur Messungen in Würzburg durchgeführt. Daher kann bezüglich einer gleichen Lautsprecheranordnung nur mit Schön et al. (2002), die CI-Patienten untersucht haben, verglichen werden. Die CI-Patienten profitierten von der bilateralen Versorgung mit durchschnittlich 4 dB bei einer Streuung in der Stichprobe von etwa 1,9 dB. Der geringfügig höhere Wert kann auf Zufall beruhen, obwohl die Untersuchungen von Lawson, Wilson et al. (1999a) es plausibel erscheinen lassen, dass CI-Nutzer mehr als Normalhörende vom Redundanzeffekt profitieren.

In einer anderen Untersuchung mit den gleichen CI-Patienten (Müller et al. 2002), in der eine üblichere Lautsprecheranordnung, nämlich Sprache von vorne und Rauschen von der Seite, verwendet wurde, ergaben sich Squelchwerte von 10,7 % und für die bilaterale Summation nicht ganz 20%. Mit der in der Untersuchung von 2002 gefundenen Steilheit der Verständlichkeitsfunktion von 7%/dB errechnet man für bilaterale Summation einen äquivalenten Wert

von etwas unter 3 dB. Da alle Patienten die HSM-Sätze bei einem festen Signal-Rausch-Abstand von 10 dB abhörten, und einige nur Verständlichkeiten im Bereich von 10 %, andere im Bereich von 90 % erreichten, die Verständlichkeitsfunktion in diesen Bereichen aber flacher verläuft, passen die eben mit 7%/dB etwas großzügig abgeschätzten 3 dB zu den zuerst genannten 4 dB.

Inzwischen haben recht viele Autoren über die Vorteile einer bilateralen Versorgung mit CIs berichtet (van Hoesel et al. 1993, van Hoesel und Clark 1995, van Hoesel und Clark 1997, van Hoesel, Clark 1999, Lawson et al. 1999b, Gantz et al. 2002, Baumann und Seeber 2001, van Hoesel und Tyler 2003, van Hoesel 2004, Laszig et al. 2004, Litovsky et al. 2004, Schleich et al. 2004, Ramsden et al. 2005, Senn et al. 2005, van Hoesel 2007). Obwohl im Allgemeinen über die beobachteten Effekte Konsens besteht, so unterscheiden sich die Ergebnisse der verschiedenen Studien im Einzelnen ganz erheblich, ohne dass sich dafür eine Erklärung anbieten würde.

4.5 Sonstige Einflussgrößen, Fehlerquellen

Zu den gemessenen Seitendifferenzen: In der Literatur wird analog zur Händigkeit auch die Frage diskutiert, ob man mit beiden Ohren gleich gut oder ob man vielleicht mit einem der beiden besser hört. Die Frage kommt auf, wenn Probanden, wie in dieser Untersuchung, für das linke und rechte Ohr unterschiedliche Ergebnisse liefern. Die Meinungen darüber gehen auseinander. Mit Hinblick auf das Richtungshören scheint es allerdings plausibel, anzunehmen, dass eine optimale Leistung nur durch zwei gleichwertige Ohren zu erzielen ist.

Um in unserer Untersuchung eine einseitige Dominanz nach zu weisen, hätte man beim selben Probanden die monauralen Messungen mehrfach wiederholen müssen. Dies war nicht der Fall. Durchführbar ist lediglich ein Rechts-Links-Vergleich für die gesamte Stichprobe. Wie aus Abb. 2 ersichtlich, liegt kein Unterschied vor. Falls also tatsächlich eine einseitige Dominanz vorliegen sollte, so müssten sich Häufigkeit und Größe des Effekts gerade so verteilt haben, dass sich der Effekt im Mittel ausgeglichen hätte.

In der Literatur wird auch eine weniger anspruchsvolle Erklärung für solche Seitendifferenzen gegeben (MacKeith und Coles 1971, Wesselkamp et al. 1997). Die Ohrstöpsel und der Schallschützer könnten unbemerkt nicht immer gleich gut abdichten, so dass mit einem schlecht gedämmten Ohr ein kleinerer bilateraler Gewinn errechnet würde als mit einem gut gedämmten. Die dadurch induzierte zusätzliche Varianz sollte dazu führen, dass die Varianz des errechneten bilateralen Gewinns aus beiden Messungen größer ausfällt als diejenige, wenn für die Berechnung alleine die höheren Schwellen verwendet werden. Eine solche Zunahme ließ sich nicht nachweisen: Man findet mit der F-Verteilung keinen signifikanten Unterschied ($F = 1,1$ und $p = 0,31$). Die Ohren sollten daher in den meisten Fällen, wenn man von den drei genannten 'Ausreißern' absieht, gleichmäßig gut gedämmt gewesen sein.

Der Schwierigkeit, die Ohren reproduzierbar und genügend zu dämmen, kann man durch die Verwendung von Kunstköpfen aus dem Weg gehen. Völlige Vergleichbarkeit kann aber auch dadurch nicht erreicht werden, weil sich auch die Kunstköpfe der verschiedenen Hersteller unterscheiden (Bronkhorst und Plomp 1988). Und selbst wenn man mit am Probanden gewonnenen, spezifischen kopfbezogenen Übertragungsfunktionen arbeitet, was als optimal anzusehen ist, so muss man unterschiedliche Kopfgrößen, Kopfformen und Ohrmuscheln in Kauf nehmen.

Gesellschaftsschwerhörigkeit: Es ist unwahrscheinlich, aber möglich, dass bei dem einen oder anderen Probanden eine Störung der binauralen Verarbeitungsprozesse vorlag, und an diesen Probanden daher ein zu kleiner binauraler Gewinn gemessen wurde. Anamnestisch gaben die Probanden an, normalhörend zu sein. Patienten, die von der sogenannten Gesellschaftsschwerhörigkeit betroffen sind, klagen über eine Hörbeeinträchtigung bei gleichzeitig bestehendem Hintergrundlärm, beispielsweise im Wirtshaus oder auf einer Cocktailparty (Cherry und Bowles 1960). Äußeres Ohr, Mittelohr und selbst die Tonaudiogramme liefern in diesen Fällen aber keine Hinweise auf einen pathologischen Befund. Man geht daher davon aus, dass „gleichzeitig empfangene akustische Signale, die aus räumlich unterschiedlichen Schall-

quellen stammen, nicht so effizient voneinander getrennt werden, wie das bei Normalhörenden der Fall ist“ (Platte et al. 1978).

Unterschiede zwischen den Probanden: Unterschiede zwischen den Probanden können viele Ursachen haben. Sie können genetisch oder durch die erlebte Umwelt bedingt sein. Greifbar sind eine unterschiedliche Leistungsbereitschaft, Konzentrationsfähigkeit, Ausdauer und Ähnliches. Die Probanden können sich auch insofern unterschiedlich verhalten, als sie bewusst oder unbewusst versuchen, die wiedergegebenen Sätze mehr oder weniger sinnvoll zu ergänzen, falls Teile nicht oder nicht passend verstanden wurden (Schick 1979, Langenbeck 1956, Kloster-Jensen 1974). Alle diese Faktoren wurden nicht untersucht, aber sie lassen die beobachteten Unterschiede im Verhalten der Probanden plausibel erscheinen.

5 Zusammenfassung

Mit einer Anordnung von vier Lautsprechern in den Ecken eines Quadrates wurde der Unterschied der Sprachverständlichkeit zwischen ein- und beidohrigem Hören ermittelt. Monaurales Hören wurde simuliert, indem ein Ohr mit einem Ohrstöpsel (E-A-R Classic) verschlossen und durch eine Schallschutzkapsel (Bilsom) zusätzlich gedämmt wurde. Der Proband saß in der Mitte zwischen den Lautsprechern und sah vor sich im Abstand von jeweils 45° zwei der vier Lautsprecher. Jeweils zwei diagonal gegenüberliegende Lautsprecher strahlten das gleiche Signal ab. Dadurch entsteht ähnlich der Helmholtzschen Anordnung von zwei Spulen in der Mitte ein homogenes Schallfeld, so dass der Proband seinen Kopf leicht bewegen darf, ohne die Messung nennenswert zu verfälschen.

Jeder Proband hörte insgesamt die ersten zwölf Listen des HSM-Satztests in den drei benutzten Konditionen ab. Zunächst in den beiden monauralen Konditionen, in denen sich das jeweils unverschlossene Ohr auf der Seite des Lautsprechers befand, der von vorne Sprache abstrahlte. Jeder Proband begann mit einer um eins höheren Listennummer als sein Vorgänger. Auf die zwölfte Liste folgte zyklisch wieder die erste. In jeder Kondition hörte er vier Listen bei verschiedenen Signal-Rausch-Abständen ab. Der Sprachpegel lag unverändert bei 70 dB, die Rauschpegel lagen im Mittel bei 76 dB für die monaurale und bei 80 dB für die binaurale Kondition. Die Rauschpegel wurden in Schritten von jeweils 4 dB variiert. Drei Pegel waren durch das Versuchsprotokoll festgelegt worden, der vierte Pegel wurde nach Inspektion der bereits gemessenen Verständlichkeiten so gewählt, dass der lineare Bereich der Verständlichkeitsfunktion möglichst gut erfasst wurde.

An die vier Messwerte pro Kondition wurde eine Tangens hyperbolicus Funktion so angepasst, dass Steigung und Sprachverständlichkeitsschwelle zusammen mit additiven Termen für Listen- und Sequenzeffekte die Fehlerquadrate minimierten. Aus der Differenz der Werte zwischen monauralem und binauralem Hören ergab sich der bilaterale Hörgewinn. Je nach Berechnungsverfahren lag er bei 3,3 dB oder 3,9 dB. Die Streuung betrug ungefähr 1,5

dB. Ein bilateraler Verständlichkeitszuwachs von 10 %, wie er von den Krankenkassen für die Genehmigung eines zweiten Hörgeräts verlangt wird, konnte mit einer geschätzten Wahrscheinlichkeit von 95 % mit je einer monauralen und binauralen Messung nachgewiesen werden.

6 Literaturverzeichnis

- Baumann U, Seeber BU (2001): Bimodale Versorgung mit Cochlea Implantat und Hörgerät: Verbesserung von Sprachverständnis und Lokalisation. Z Audiol, Suppl IV: 36-39
- Baer T, Moore BC, Gatehouse S (1993): Spectral contrast enhancement of speech in noise for listeners with sensorineural hearing impairment: effects on intelligibility, quality, and response times. J Rehabil Res Dev 30: 49-72
- Beattie RC (1989): Word recognition functions for the CID W-22 in multitalker noise for normally hearing and hearing-impaired subjects. J Speech Hear Disord, 54: 20-32
- Bergmann M (1957): Binaural hearing. Arch Otolaryngol 66: 572-578
- Bess FH, Tharpe AM (1984): Unilateral hearing impairment in children. Pediatrics 74: 206-215
- Blauert J (1974): Räumliches Hören. S. Hirzel Verlag, Stuttgart
- Bodden M (1993): Binaurales Hören und die Hörgeräte-Technologie der Zukunft. Audiol Akustik 32: 64-75
- Bronkhorst AW, Plomp R (1988): The effect of head-induced interaural time and level differences on speech intelligibility in noise. J Acoust Soc Am 83: 1508-1516
- Bronkhorst AW, Plomp R (1989): Binaural speech intelligibility in noise for hearing-impaired listeners. J Acoust Soc Am 86 (4): 1374-1383
- Butler RA (1969): Monaural and binaural localization of noise bursts vertically in the median sagittal plane, J Aud Res 3: 230-235
- Carhart R (1965): Monaural and binaural discrimination against competing sentences. Int J Audiol 4: 5-10
- Cherry C (1953): Some experiments on the recognition of speech with one and two ears. J Acoust Soc Am 25: 975-979

- Cherry C, Bowles J (1960): Contribution to a study of the cocktail party effect. J Acoust Soc Am 32: 884
- Colburn HS, Zurek PM, Durlach NI (1987): Binaural directional hearing impairments and aids. In: Yost WA, Gourevitch G, eds. Directional Hearing. Springer, New York, 261–278
- Delle DD (2002): Sprachverstehen bei Störlärm von 60 dB und 80 dB gemessen mit dem HSM-Satztest bei normalhörenden Erwachsenen zur Untersuchung der Ausgewogenheit der Satzgruppen. Diss. Univ. Würzburg, HNO
- Dillon H (2001): Hearing Aids. Turramurra, NSW, Boomerang Press
- Dirks DD, Wilson RH (1969): The effect of spatially separated sound sources on speech intelligibility. J Speech Hear Res 12: 5-38
- Duquesnoy AJ (1983): Effect of a single interfering noise or speech source on speech intelligibility. J Acoust Soc Am 88: 739-743
- Durlach NI, Colburn HS (1978): Binaural Phenomena. In Carterette EC, Friedman MP, Eds. Handbook of Perception, Vol 4. Academic Press , New York: p 429
- Ellermeier W, Hellbrück J, Heller O, Nowak T (1985): Direkte Skalierung binauraler Lautheitssummation: Ein neues psychophysikalisches Modell. Psychol Beitr 27: 509-519
- Fastl H (1987): Ein Störgeräusch für die Sprachaudiometrie. Audiol Akustik 26: 2-13
- Gantz BJ, Tyler RS, Rubinstein JT, Wolaver A, Lowder M, Abbas P, Brown C, Hughes M, Preece JP (2002): Binaural cochlear implants placed during the same operation. Otol Neurotol 23: 169–180
- Gardner MB (1973): Some monaural and binaural facets of median plane localization, J Acoust Soc Am 54: 1489-1495
- Groen JJ (1969): Social hearing handicap; Its measurement by speechaudiometry in noise. Int J Audiol 8: 182-183

- Harten H. (2000): Qualitätsbewertung von binauralen Hörgerätsversorgungen – Vergleich und Bewertung der Prüfanordnung nach DIN EN ISO 8253-3 mit den in der Praxis gebräuchlichen Prüfanordnungen. Diplomarbeit, Fach-Hochschule Lübeck
- Hochmair I, Schulz E, Moser LM (1995): HSM Satztest. Westra digital Audiometrie Disc Nr. 15
- Hochmair-Desoyer I, Schulz E, Moser L, Schmidt M (1997): The HSM sentence test as a tool for evaluating the speech understanding in noise of cochlear implant users. *Am J Otol Suppl* 18: 83
- Holube I (1993): Experimente und Modellvorstellungen zur Psychoakustik und zum Sprachverstehen bei Normal- und Schwerhörigen. Diss. Univ. Göttingen
- Ingold L, Tschopp K (1992): Ein Vorschlag zur Eichung und Wahl von Störgeräuschen für die Sprachaudiometrie. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)* 71: 315-318
- Kloster-Jensen M (1974): Die Testwörter der Sprachaudiometrie. *Z f Hörgeräte Akustik* 13: 158-173
- Koenig, W (1950): Subjective effects in binaural hearing. *J Acoust Soc Am* 22: 61-62
- Konkle D, Schwartz D (1981): Binaural amplication: A paradox, in Bess FN, Freeman BA, Sinclair S. (Eds): *Amplication in Education*. Washington DC. Alexander Graham Bell Association for the Deaf: 342-357
- Langenbeck B (1956): *Leitfaden der praktischen Audiometrie*. 2. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart
- Laszig R, Aschendorff A, Stecker M, Müller-Deile J, Maune S, Dillier N, Weber B, Hey M, Begall K, Lenarz T, Battmer RD, Bohm M, Steffens T, Strutz J, Linder T, Probst R, Allum J, Westhofen M, Doering W (2004): Benefits of bilateral electrical stimulation with the nucleus cochlear implant in adults: 6-month postoperative results. *Otol Neurotol* 25: 958-968.

- Lawson D, Wilson B, Zerbi M, Finley C (1999a): Speech processors for auditory prostheses, Fourth Quarterly Progress Report, July 1 through September 31, 1999, NIH Project N01-DC-8-2105, Research Triangle Institute, <http://www.rti.org/reports/capr/N01-DC-8-2105QPR04.pdf>
- Lawson D, Wolford R, Brill St, Schatzer R, Wilson B(1999b): Speech Processors for auditory prostheses, Twelfth Quarterly Progress Report, July 1 through September 31, 1999, NIH Project N01-DC-8-2105, Research Triangle Institute, <http://www.rti.org/reports/capr/N01-DC-8-2105QPR12.pdf>
- Litovsky RY, Parkinson A, Arcaroli J, Peters R, Lake J, Johnstone P, Yu GQ (2004): Bilateral cochlear implants in adults and children. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 130: 648-655.
- Lochner JPA, Burger JF (1961): The binaural summation of speech signals. Acustica 11: 313-317
- MacKeith NW, Coles RRA (1971): Binaural advantages in hearing of speech. J Laryngol Otol 85: 213-232
- Markides A (1977): Advantages of binaural hearing over monaural hearing. In: Markides A (Ed): Binaural Hearing Aids. Academic Press, London
- Marks L (1978): Binaural summation of the loudness of pure tones. J Acoust Soc Am 64: 107-113
- Müller J, Schön F, Helms J (2002): Speech understanding in quiet and noise in bilateral users of the MED-EL COMBI 40/40+cochlear implant system. Ear Hear 23: 198-206
- Müller J, Schön F, Shehata-Dieler W, Kühn-Inacker H, Helms J (2001): Ergebnisse nach bilateraler Cochlea-Implantat-Versorgung bei Kindern und Erwachsenen. Z Audiol Suppl IV: 40-41
- Niemeyer W (1967a): Speech discrimination in noise-induced deafness. Int J Audiol 6: 42-47

- Niemeyer W (1967b): Sprachaudiometrie mit Sätzen. HNO 15: 335-343
- Niemeyer W (1969): Zur graduellen Abstufung der Schwerhörigkeit nach dem Sprachaudiogramm.
Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd 194: 508-516
- OLSA, Oldenburger Satztest (2000): Handbuch und Hintergrundwissen,
HörTech gGmbH, Marie-Curie-Straße 2, D-26129 Oldenburg
- Palmer C (2002): Fitting strategies for patients with symmetrical hearing loss. In
Strategies for selecting and verifying hearing aids fitting. Michael
Valente Ed, Thieme Medical Publishers, 2nd Ed. 202-220
- Pedersen OJ, Poulsen T (1982): Binaural effects in normal and impaired
hearing. Scand Audiol Suppl 15: 95-111
- Peissig J, Kollmeier B (1997): Directivity of binaural noise reduction in spatial
multiple noise-source arrangements for normal and impaired
listeners. J Acoust Soc Am 101: 1660-1670
- Peters RB (2006): Rationale for Bilateral Cochlear Implantation in Children and
Adults.
http://www.cochlearamericas.com/PDFs/bilateral_white_paper.pdf
- Pirilä T (1991): Left – right asymmetry in the human response to experimental
noise exposure. Acta Otolaryngol (Stockh) 111: 861 – 866
- Plath P (1969): Zur Ermittlung des prozentualen Hörverlustes aus ton- und
sprachaudiometrischen Messwerten.
Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd 194: 504-508
- Platte HJ, Döring WH, Schlöndorff G (1978): Richtungshören und Sprach-
verstehen unter Störschalleinfluß bei „Normalhörenden“.
Laryngol Rhinol Otol (Stuttg) 97: 672–680
- Platte HJ (1979a): Zur Bedeutung der Außenohrübertragungseigenschaften für
den Nachrichtenempfänger „menschliches Ohr“.
Diss. TH Aachen

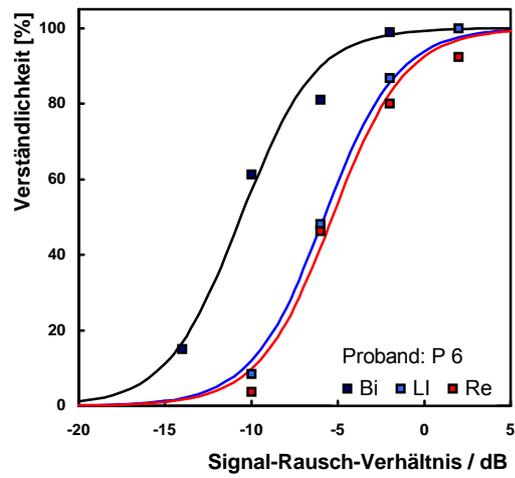
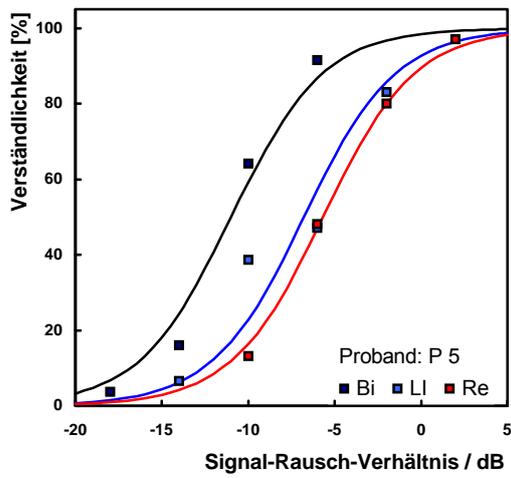
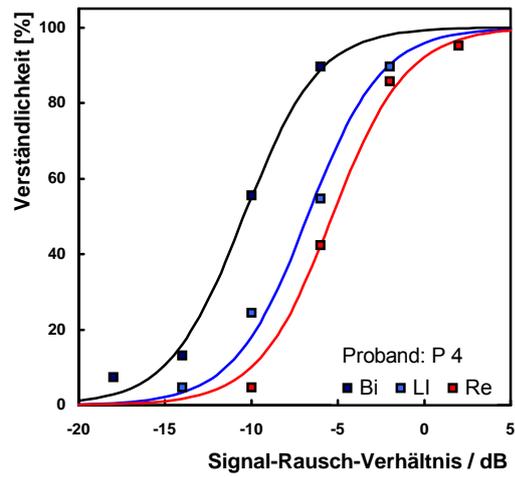
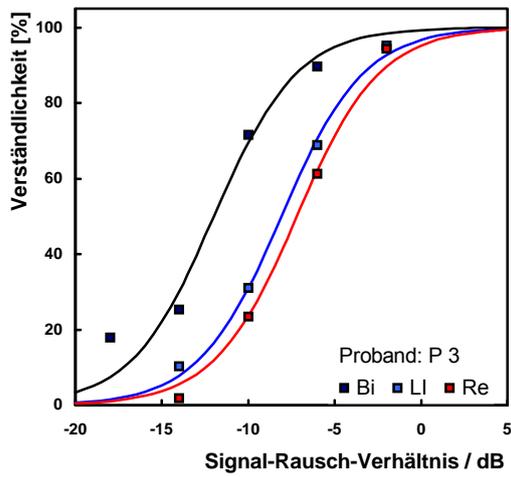
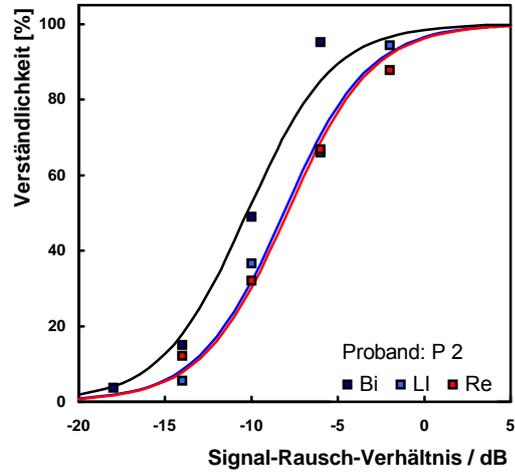
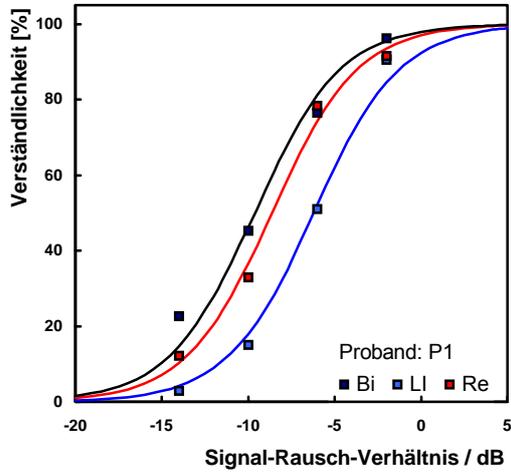
- Platte HJ (1979b): Probleme bei Sprachverständnistests unter Störschall.
Z f Hörgeräte Akustiker 18: 190-207
- Platte HJ (1979c): Konzeption eines sinnvollen Sprachverständnistests unter Störschall. Z f Hörgeräte Akustiker 18: 208-226
- Platte HJ, vom Hövel H (1980): Zur Deutung der Ergebnisse von Sprachverständlichkeitsmessungen mit Störschall im Freifeld.
Acustica 45: 139-150
- Plomp R, Mimpen AM (1981): Effect of the orientation of the speaker's head and the azimuth of a noise source on the speech-reception threshold for sentences. Acustica 48: 325-328
- Ramsden R, Greenham P, O'Driscoll M, Mawman D, Proops D, Craddock L, Fielden C, Graham J, Meerton L, Verschuur C, Toner J, McAnallen C, Osborne J, Doran M, Gray R, Pickerill M (2005): Evaluation of bilaterally implanted adult subjects with the nucleus 24 cochlear implant system. Otol Neurotol 26: 988-998
- R Development Core Team (2005): The R Environment for Statistical Computing and Graphics, Reference Index. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2.2.1 Ausgabe 2005
- Reynolds GS, Stevens SS (1960) Binaural summation of loudness.
J Acoust Soc Am 32: 1337-1344
- Scharf B, Fishken D (1970): Binaural summation of loudness: reconsidered.
J Exp Psychol 86: 374-379
- Schaub E (2005): Über die Lautheitssummation bei bilateralen Cochlea-Implantat-Trägern. Diss. Univ. Würzburg, HNO
- Schick A (1979): Schallwirkungen aus psychologischer Sicht. 1. Auflage, Klett Verlag, Stuttgart
- Schleich P, Nopp P, D'Haese P (2004): Head shadow, squelch, and summation effects in bilateral users of the MED-EL COMBI 40/40+ cochlear implant. Ear Hear 25: 197-204.

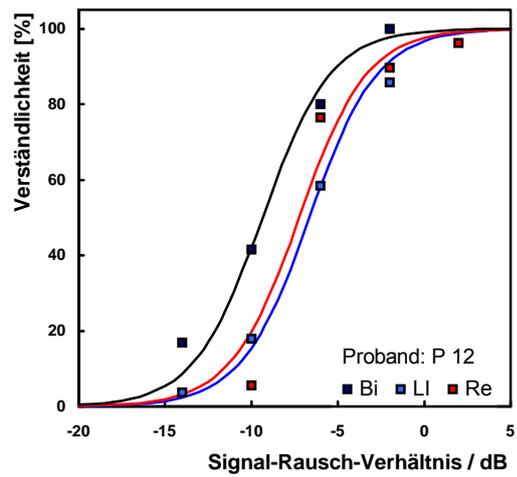
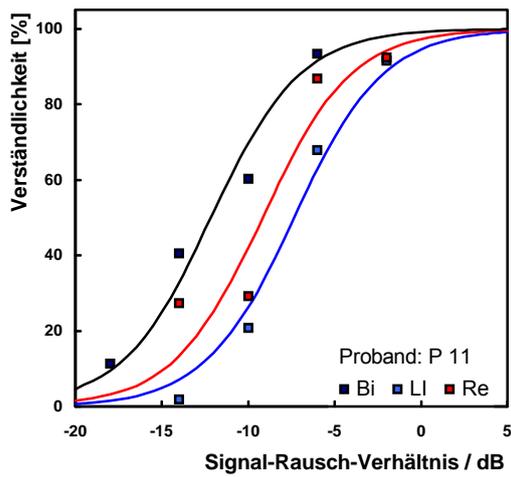
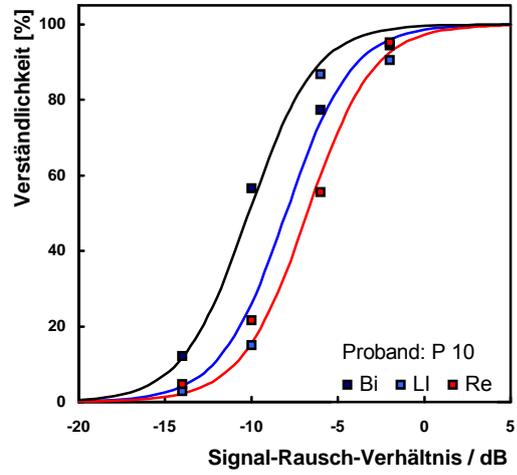
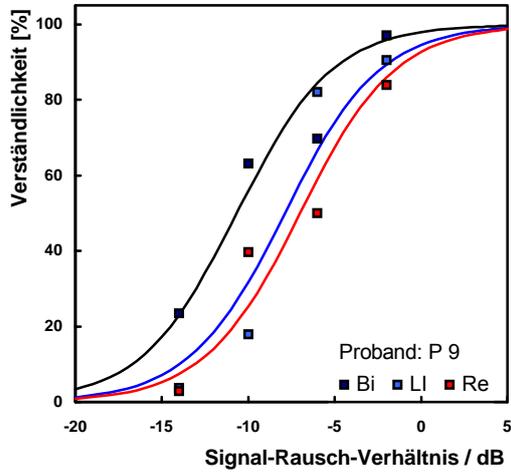
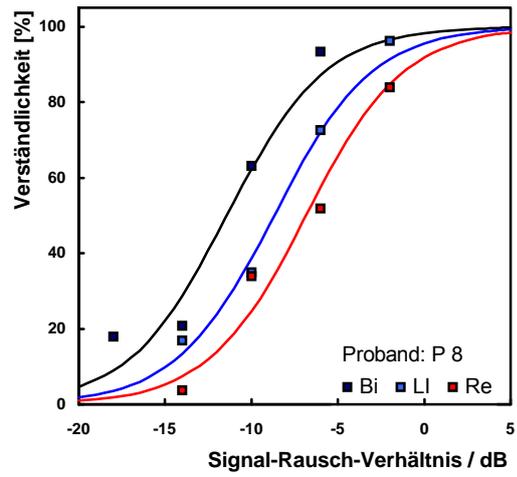
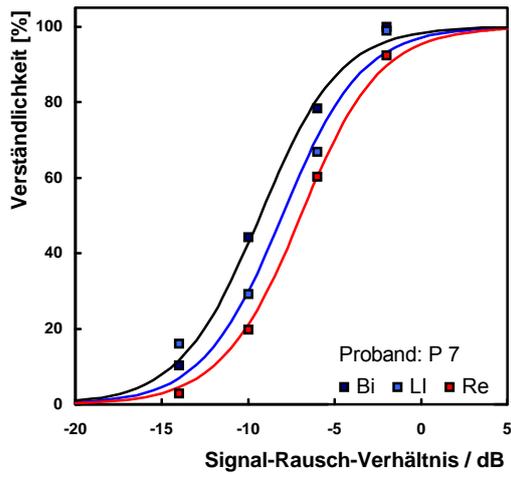
- Schmidt M, Hochmair –Desoyer I, Schulz E, Moser L (1997): Der HSM-Satztest. Fortschritte der Akustik - DAGA 1997: 93-94
- Schön F, Müller J, Helms J (2002): Speech reception thresholds obtained in a symmetrical four-loudspeaker arrangement from bilateral users of MED-EL cochlear implants. *Otol Neurotol* 23: 710-714
- Senn P, Kompis M, Vischer M, Haeusler R (2005): Minimum audible angle, just noticeable interaural differences and speech intelligibility with bilateral cochlear implants using clinical speech processors. *Audiol Neurootol* 10: 342-352.
- Shagdarsuren S (2002): Das einseitig schwerhörige Kind - Kommunikationsstörungen bei einseitiger Schwerhörigkeit. Diss. Univ. Bochum
- Sotscheck J (1985a): Bestandsaufnahme von Störgeräuschen. 12. Kolloquium audiolog. tätiger Physiker und Ingenieure. *Audiol Akustik* 24: 180
- Sotscheck J (1985b): Sprachverständlichkeit bei additiven Störungen. *Acustica* 57: 257-267
- Tillman TW, Kasten RN, Horner IS (1963): Effect of head shadow on reception of speech. *ASHA* 5: 778-779
- Tschopp K (1992): Vergleich von offenen und geschlossenen Antwortsystemen in der Sprachaudiometrie. *Audiol Akustik* 31/3: 76-83
- Tyler RS, Dunn CC, Witt SA, Preece JP (2003): Update on bilateral cochlear implantation. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 11 (5): 388-393
- van Hoesel RJM, Tong YC, Hollow RD, Clark GM(1993): Psychophysical and speech perception studies: A case report on a bilateral cochlear implant subject. *J Acoust Soc Am* 94: 3178–3189
- van Hoesel RJM, Clark GM (1995). Fusion and lateralization study with two binaural cochlear implant patients. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 104: 233–235

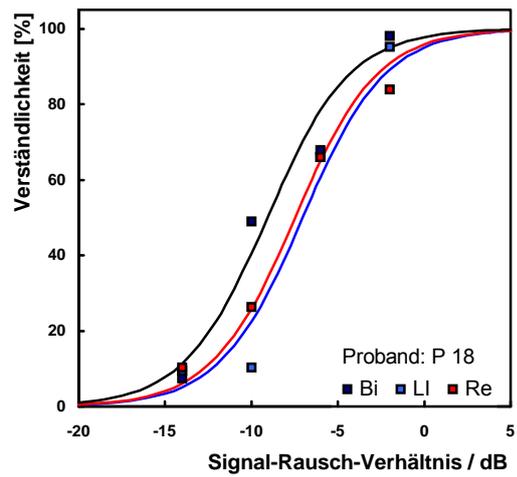
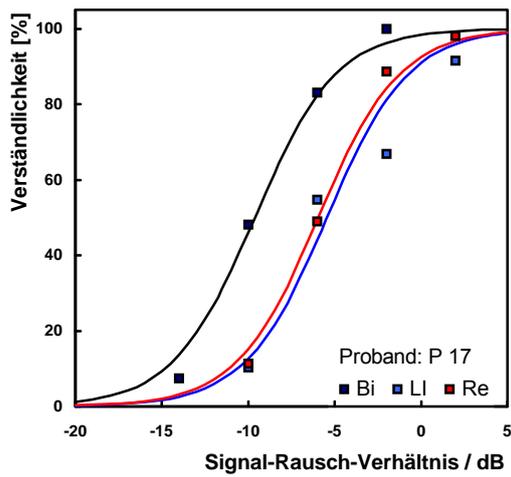
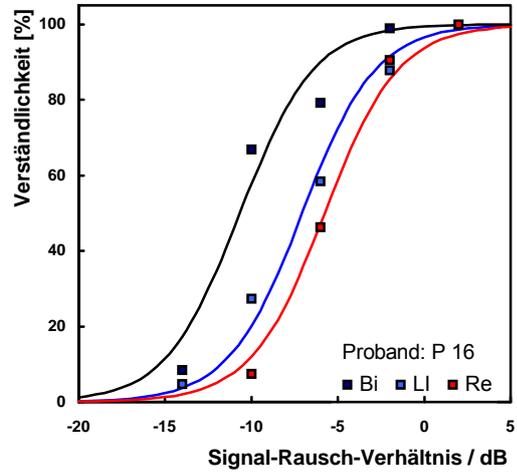
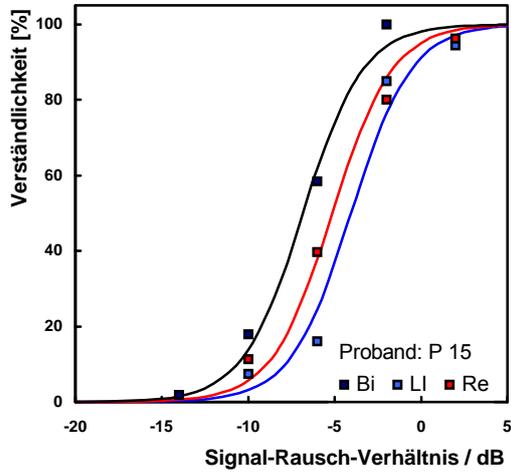
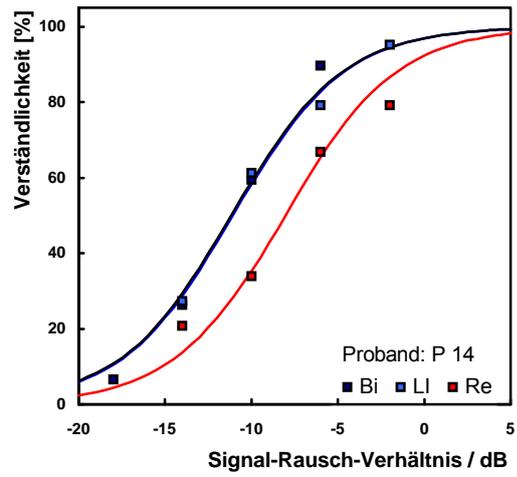
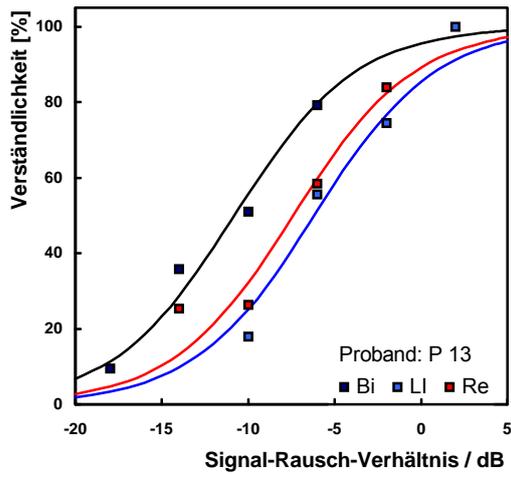
- van Hoesel RJM, Clark GM (1997): Psychophysical studies with two binaural cochlear implants subjects.
J Acoust Soc Am 102: 504–518
- van Hoesel RJM, Clark GM (1999): Speech results with a bilateral multi-channel cochlear implant for spatially separated signal and noise.
Aust J Audiol 21: 23–28
- van Hoesel RJM, Tyler RS (2003): Speech perception, localization, and lateralization with bilateral cochlear implants.
J Acoust Soc Am 113: 1617-1630
- van Hoesel RJM (2004): Exploring the benefits of bilateral cochlear implants.
Audiol Neurootol 9: 234-246
- van Hoesel RJM (2007): Sensitivity to binaural timing in bilateral cochlear implant users. J Acoust Soc Am 121: 2192-2206
- Wagener K, Kühnel V, Kollmeier B (1999): Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. Audiol Akustik 38: 4-15
- Wedel H von (1985): Untersuchungen zur Sprachdiskrimination bei umweltspezifischen Störgeräuschen.
Laryngol Rhinol Otol (Stuttg) 64: 430–435
- Weinstein B (1984): A review of hearing handicap scales. Audiology 9: 91-109
- Welsh L, Rosen L, Welsh J, Dragonette J (2004): Functional impairments due to unilateral deafness. Ann Otol Rhinol Laryngol 11: 987-993
- Wesselkamp M, Holube I, Gabriel B (1997): Sprachverständlichkeit im Störrauschen bei Schwerhörigen mit und ohne Hörgerät.
Audiol Akustik 36: 192-204
- Wilson BS, Lawson DT, Müller JM, Tyler RS, Kiefer J (2003): Cochlear Implants: some likely next steps. Ann Rev Biomed Eng 5: 207-249

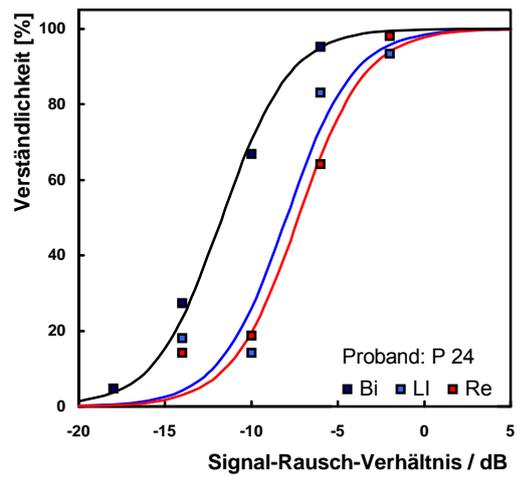
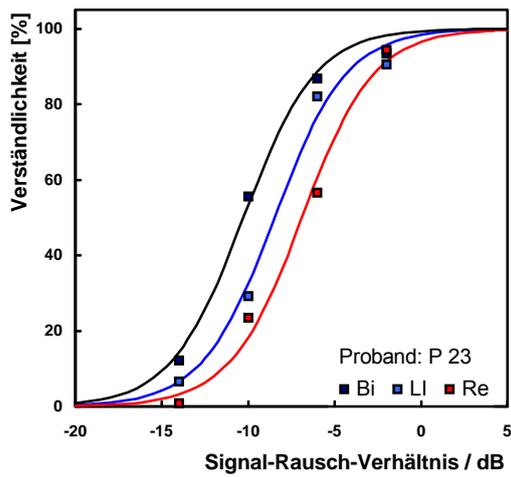
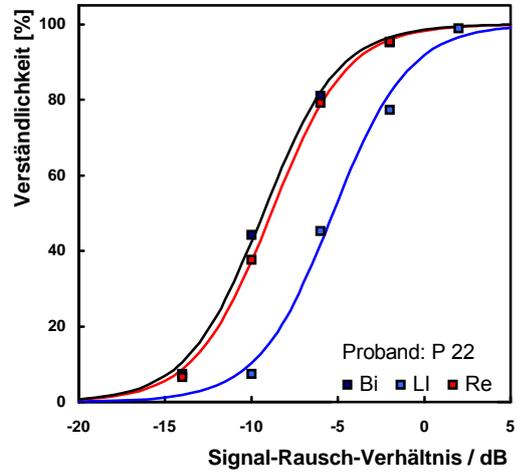
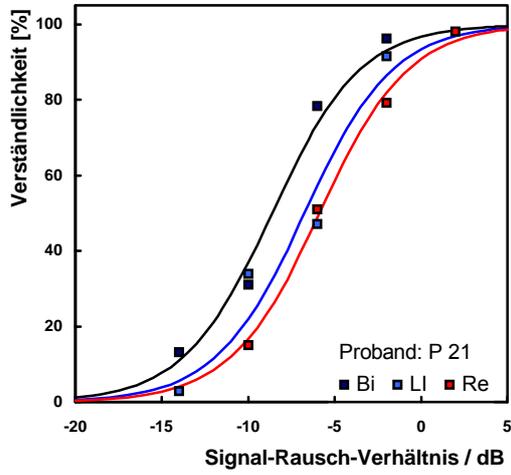
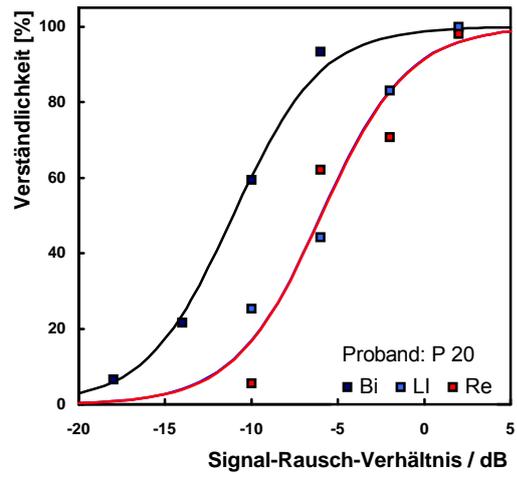
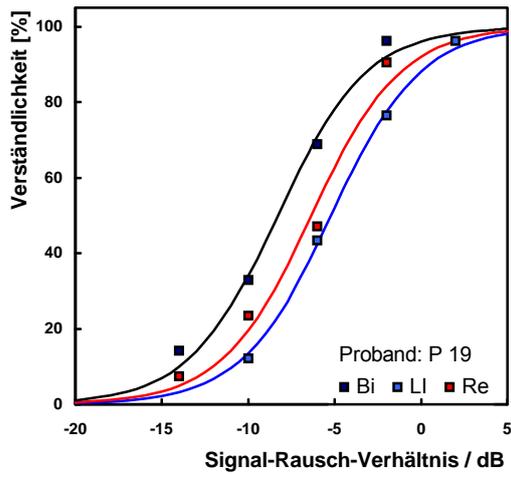
Zimmermann M (2000): Sprachverstehen im Störlärm mit HSM – Satztest
(Hochmeier, Schultz, Moser) bei Hörgeräteträgern zum Vergleich der
Satzgruppen. Diss. Univ. Würzburg, HNO

7 Anhang - Daten der einzelnen Probanden









Danksagung

Herrn Professor Dr. med. Jan Helms, ehemaliger Direktor der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten der Universität Würzburg, danke ich für die Annahme als Doktorand, die Überlassung des Themas und die Möglichkeit, Einrichtungen der Klinik für die Durchführung der Arbeit nutzen zu können.

Mein Dank für die freundliche Übernahme des Referates und Korreferates gilt Herrn Professor Dr. med. Rudolf Hagen und Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. dent. Josip S. Bill.

Ganz besonders möchte ich Herrn Dr. rer. nat. Franz Schön für die umfangreiche Betreuung in allen statistischen und fachspezifischen Fragen, sowie für die Durchsicht der Arbeit danken. Seine stete Bereitschaft zur Hilfestellung, auch im Ruhestand, hat maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Nicht zuletzt bin ich allen Probanden für die Mühe, die konzentrierte Mitarbeit und die Zeit, die sie bereitwillig für die Versuchsdurchführung geopfert haben, zu aufrichtigem Dank verpflichtet.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Christian Steinle
Geburt	14.06.1974 in München
Familienstand	ledig
Konfession	evangelisch
Nationalität	Deutsch

Schulbildung

1981–1985	Friedrich-Ebert-Grundschule, Augsburg/Göggingen
1985–1994	Gymnasium bei St. Anna, Augsburg
Juli 1994	Zeugnis der allgemeinen Hochschulreife
Sept. 1994–Sept. 1997	erfolgreiche Behandlung einer akuten lymphatischen Leukämie mit voller Remission

Hochschulausbildung

November 1996	Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der Julius–Maximilians–Universität Würzburg
Oktober 1997	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
Oktober 1999	Zahnärztliche Vorprüfung
Februar–Juni 2002	Zahnärztliche Prüfung
Juli 2002	Approbation als Zahnarzt

Beruflicher Werdegang

Sept. 2002–Febr. 2003	Anstellung als Vorbereitungsassistent in Augsburg
März 2003–August 2003	Anstellung als Vorbereitungsassistent an der Klinik für Kiefer- und Gesichtschirurgie, plastische Operationen des Katharinenhospitals in Stuttgart
Sept. 2003–Sept. 2006	Anstellung als Assistenz Zahnarzt in der Klinik für Kiefer- und Gesichtschirurgie, plastische Operationen des Katharinenhospitals in Stuttgart
September 2006	Diplom Fachzahnarzt für Oralchirurgie
Oktober 2006	Anstellung als Zahnarzt und Oralchirurg in Augsburg
März 2007	Niederlassung als Zahnarzt und Fachzahnarzt für Oralchirurgie in Augsburg
Augsburg, 11.07.2008	