

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke  
der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. J. Helms

**Sprachtestergebnisse und Einflussfaktoren auf die  
Sprachverständlichkeit nach Cochlea-Implantat-Versorgung**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von

**Tanja Schmitt**

aus Euerdorf

Würzburg, Juni 2004

Referent: Prof. Dr. med. J. Helms

Koreferent: Priv.-Doz. Dr. Dr. J. Bill

Dekan: Prof. Dr. med. S. Silbernagl

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Juli 2004

Die Promovendin ist Zahnärztin

## **Meiner Familie**

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung.....	1
2	Theoretische Grundlagen.....	3
2.1	Anatomische und physiologische Grundlagen.....	3
2.2	Das Hörfeld des Menschen .....	6
2.3	Taubheit und ihre Ursachen .....	7
2.4	Indikationen zur Cochlea-Implantation.....	7
2.5	Geschichte und Entwicklung des Cochlea-Implantats .....	9
2.6	Aufbau und Funktionsweise eines CI-Systems.....	10
3	Material und Methoden .....	13
3.1	Zusammensetzung des Patientenkollektivs.....	13
3.2	Promontorialtest .....	14
3.3	Medikation .....	16
3.4	Sprachaudiometrische Untersuchungen.....	16
3.5	Sprachmaterial .....	18
3.5.1	Freiburger Zahlentest.....	18
3.5.2	Freiburger Einsilbertest .....	18
3.5.3	HSM-Satztest .....	19
3.6	Datenerfassung .....	20
3.7	Statistische Grundlagen.....	20
3.8	Auswertung der Daten .....	21
4	Ergebnisse .....	23
4.1	Zeitabhängigkeit der Sprachverständlichkeit .....	23
4.2	Korrelation der verschiedenen Sprachverständlichkeitstests.....	27
4.2.1	Freiburger Einsilber- und Zahlentest bei 60 dB SPL.....	27
4.2.2	Freiburger Einsilbertest und HSM-Satztest .....	28
4.2.3	Freiburger Zahlentest bei 60 dB SPL und HSM-Satztest .....	29
4.3	Verteilung der Ergebnisse im Freiburger Einsilbertest.....	30
4.4	Einfluss verschiedener Faktoren auf die Sprachverständlichkeit.....	31
4.4.1	Einfluss der Ertaubungsdauer .....	31
4.4.2	Korrelation mit den Ergebnissen im Promontorialtest.....	32

4.4.3	Einfluss der intraoperativen Cortisongabe .....	35
5	Diskussion .....	36
5.1	Fehlermöglichkeiten .....	36
5.1.1	Einfluss des Untersuchers .....	36
5.1.2	Einfluss des verwendeten Sprachprozessors .....	37
5.1.3	Einfluss des Patientenalters .....	37
5.2	Sprachverständlichkeitstests .....	38
5.3	Einflussparameter .....	41
5.3.1	Einfluss der Ertaubungsdauer .....	42
5.3.2	Einfluss der im Promontorialtest beobachteten Eigenschaften .....	42
5.3.3	Einfluss des Cortisons .....	43
6	Zusammenfassung .....	44
7	Literaturverzeichnis .....	46

# 1 Einleitung und Problemstellung

Die Evolution hat den Menschen mit fünf unterschiedlichen Sinnen ausgestattet: Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Fühlen. Jeder Sinn vermittelt spezifische Informationen über unsere Umwelt und sicherte damit vor allem in den zurückliegenden Jahrtausenden das Überleben der Menschheit. Auch in unserer modernen, zivilisierten Welt reduziert der Ausfall eines Sinnesorgans die Lebensqualität des Betroffenen erheblich.

Hochgradige Schwerhörigkeit oder gar vollständige Taubheit kann deshalb schwerwiegende Folgen haben. Es ergeben sich Einschränkungen im privaten, wie auch beruflichen Bereich, die im Extremfall zum gesellschaftlichen Ausschluss führen. Vielen Schwerhörigen und Ertaubten wird so das Gefühl gegeben, an einer Behinderung zu leiden. Wenn also das Hörvermögen wiederhergestellt wird, verbessern sich sowohl die allgemeine Lebensqualität, als auch die psychische Situation der Betroffenen [Harris et al., 1995].

Schwerhörige haben seit langem die Möglichkeit, ihr Gehör durch Tragen geeigneter Hörgeräte zu korrigieren. Für die Behandlung von hochgradiger Schwerhörigkeit und Taubheit hat sich erst gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts die Implantation einer entsprechenden Innenohrprothese etabliert und weltweite Anerkennung gefunden [Marangos et Laszig, 1998; Müller et al., 2000].

Der technische Fortschritt verhilft den Trägern solcher Cochlea-Implantate, kurz CIs, nicht nur zu neuen Höreindrücken, sondern oft auch zu einem freien Sprachverständnis. Ein CI mindert so die beruflichen, wie auch privaten und gesellschaftlichen Einbußen.

In der klinischen Praxis ist man daran interessiert zu messen, wie gut der Einzelne mit dem CI versteht. Deshalb wurden in verschiedenen zeitlichen Abständen so genannte Sprachverständlichkeitstests durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Tests wurden in der vorliegenden Arbeit ausgewertet.

Das Ziel der Studie besteht darin aufzuzeigen, wie sich die Sprachverständlichkeit mit der Dauer des CI-Gebrauchs ändert und welche Faktoren die Sprach-

verständlichkeit beeinflussen. Grundlage hierfür bildete eine umfassende Stichprobe aus dem Kollektiv der Würzburger CI-Patienten.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Anatomische und physiologische Grundlagen

Das Ohr lässt sich in drei Abschnitte gliedern: Außenohr, Mittelohr und Innenohr. Zum Außenohr zählen die Ohrmuschel, der äußere Gehörgang und das Trommelfell. Das Trommelfell grenzt das Außenohr vom Mittelohr ab.

Im Mittelohr befinden sich die Gehörknöchelchen Hammer (Malleus), Amboß (Incus) und Steigbügel (Stapes), die gelenkig miteinander verbunden sind. Der Hammer ist über den Hammergriff fest mit dem Trommelfell verwachsen und durch den Amboß mit dem Steigbügel verbunden. Der Steigbügel passt sich mit seiner Fußplatte in das ovale Fenster ein. Das Trommelfell und die Gehörknöchelchen transformieren und transportieren den Schall. Sie sind wichtig für eine normale Funktion des Mittelohres. Eine gestörte Funktion führt zur Schallleitungsschwerhörigkeit.

Hinter dem ovalen Fenster beginnt das Innenohr. Zum Innenohr zählen zwei verschiedene Organe, das Gleichgewichtsgewichtsorgan und das Hörorgan, das in der Cochlea liegt. Im vorgegebenen Zusammenhang interessiert nur die Cochlea. Sie bildet einen schneckenförmigen Gang, der in drei Räume unterteilt ist, nämlich die Scala tympani, die Scala media und die Scala vestibuli. An der Schneckenspitze, dem Helikotrema, gehen die Scala tympani und die Scala vestibuli ineinander über. Die Scala vestibuli beginnt am ovalen Fenster und die Scala tympani an der Membran des runden Fensters. Das runde Fenster befindet sich unterhalb des ovalen Fensters in der Wand zum Mittelohr. Die Scala media, auch Ductus cochlearis genannt, ist mit Endolymphe gefüllt, während die Scala tympani und die Scala vestibuli Perilymphe enthalten. Damit es zu keiner Vermischung der Flüssigkeiten kommt, sind die drei Bereiche durch Membranen voneinander abgegrenzt. Die Scala media ist durch die Basilarmembran von der Scala tympani und durch die Reissnersche Membran von der Scala vestibuli getrennt. Der Basilarmembran sitzen die Haarzellen auf, die als Rezeptoren des Hörorgans fungieren. Jede Haarzelle besitzt etwa hundert Ste-

reozilien, die in nahem Kontakt zu einer weiteren Membran, der Membrana tectoria, stehen (Abb.1).

Schallwellen werden von der Ohrmuschel aufgefangen und erreichen über den äußeren Gehörgang das Trommelfell. Das Trommelfell wird durch die Schalldruckschwankungen in Schwingungen versetzt und wirkt somit als Absorber für die einfallenden Schallwellen. Die Schwingungen des Trommelfells werden über die Gehörknöchelchenkette möglichst verlustarm zum Innenohr übertragen. Außerdem fungiert das Mittelohr als Impedanzwandler und erlaubt die Übertragung aus dem Medium Luft, mit niedrigem Wellenwiderstand, zu dem mit Flüssigkeit gefüllten Innenohr, mit hohem Wellenwiderstand. Der Hauptteil der Impedanzwandlung kommt dadurch zustande, dass der Schall von der relativ großen Fläche des Trommelfells ( $50 \text{ mm}^2$ ) auf die kleine Fläche des ovalen Fensters ( $3 \text{ mm}^2$ ) übertragen wird. Die Schwingungen der Fußplatte des Steigbügels werden unter Beteiligung der Lymphen auf die Basilarmembran übertragen und erregen dort eine Wanderwelle, die sich entlang der Cochlea ausbreitet. Der Ort, an dem sich die maximale Amplitude ausbildet, ist abhängig von der Frequenz des anregenden Tons. Je höher die Frequenz, desto weiter basal liegt das Schwingungsmaximum. Die Auslenkung der Basilarmembran verursacht gleichzeitig eine Verschiebung der Membrana tectoria gegenüber den Haarzellen. Durch diese Relativbewegung der beiden Membranen gegeneinander werden die Stereozilien der Haarzellen abgeschert. Die Abscherung stellt den adäquaten Reiz für die Auslösung der Erregung dar. Das entstandene Aktionspotential wird über den Hörnerv und die aufsteigende Hörbahn nach zentral weitergeleitet und löst im auditorischen Cortex schließlich einen Höreindruck aus [Silbernagl et Despopoulos, 1991].

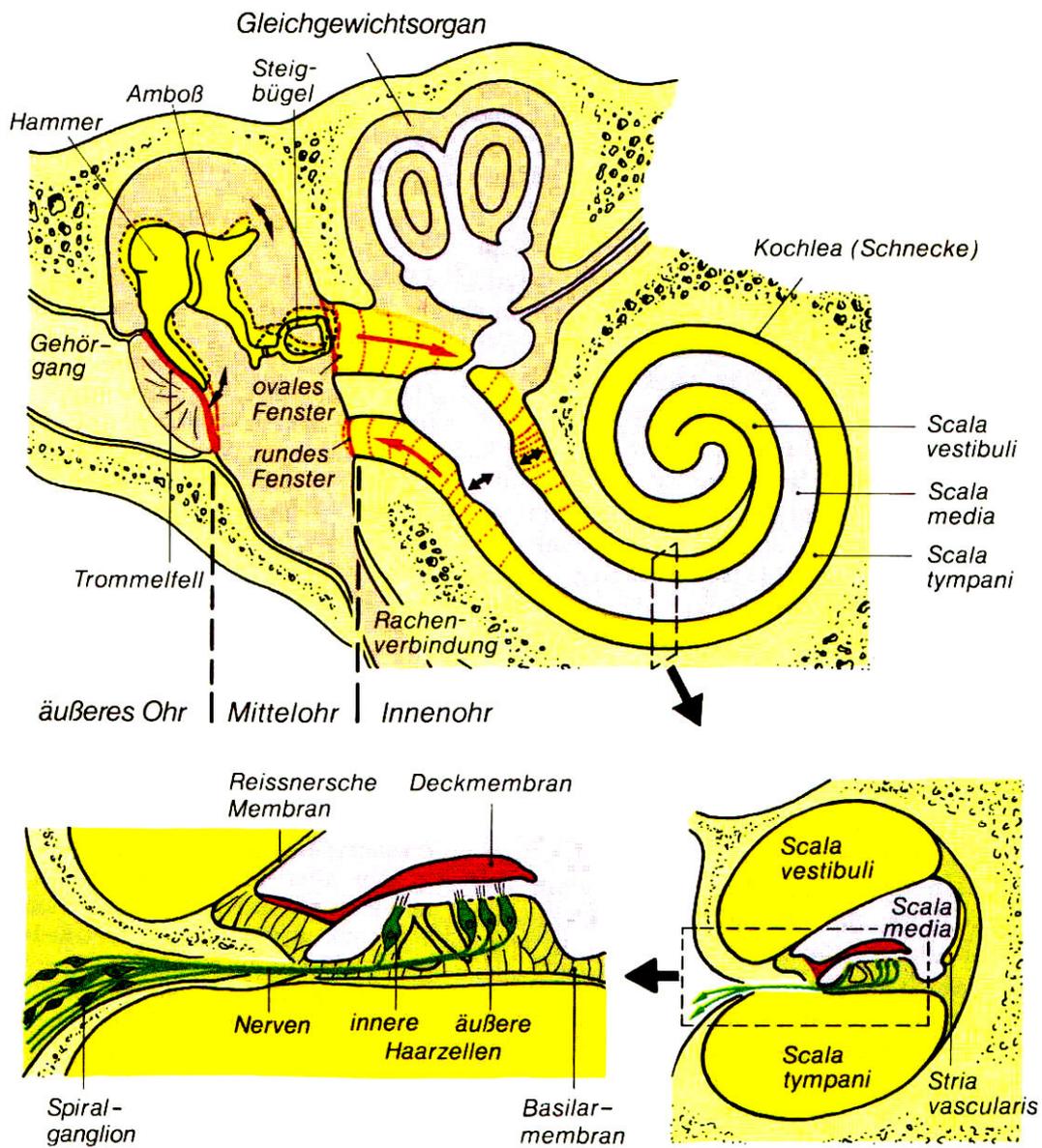


Abb.1: Übersicht über den anatomischen und funktionellen Aufbau des Ohres [Silbernagl et Despoupos, 1991]

## 2.2 Das Hörfeld des Menschen

Als Hörfeld bezeichnet man den über der Frequenz aufgetragenen, von Hörschwelle und Schmerzgrenze umschlossenen Bereich der für den Menschen hörbaren Schalle [Hellbrück, 1993]. Beim Sprechen wird nur ein relativ kleiner Ausschnitt des Hörfeldes verwendet [Fellbaum, 1984], nämlich Frequenzen von ca. 200 Hz (tiefe Töne) bis ca. 6000 Hz (hohe Töne) und eine Lautstärke zwischen ca. 40 dB (leise Sprache) und ca. 75 dB (laute Sprache) (Abb. 2).

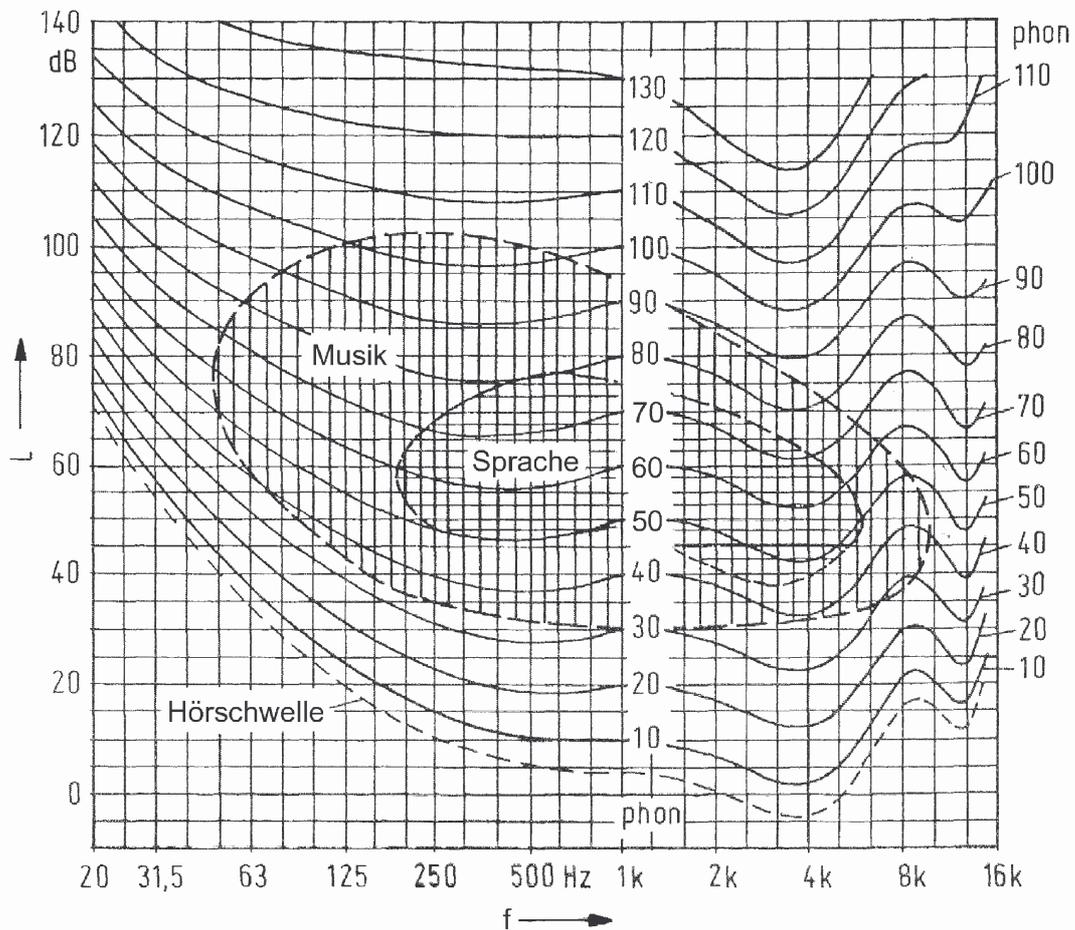


Abb. 2: Darstellung des Hörfeldes. (Der Pegel L ist auf 20  $\mu$ Pa bezogen.)  
[Fellbaum, 1984]

### **2.3 Taubheit und ihre Ursachen**

Bei ca. 30 % der Betroffenen ist die Ertaubung angeboren. Die Ursache ist meist unbekannt [Lenarz, 1998a].

Erworbene Ertaubungen treten häufig als Folge einer Meningitis auf (ca. 16 %). Auch wird eine Taubheit oft im Rahmen von Syndromen oder aufgrund von Missbildungen des Innenohres registriert. Zu anderen nennenswerten Ursachen zählen Otosklerose, Morbus Menière, Hörstürze, Virusinfektionen sowie Traumata. In ca. 30 % der Fälle kann keine Ursache angegeben werden [Lenarz, 1998a].

Sehr häufig, nämlich bei mehr als 95 % der ertaubten oder schwerhörigen Patienten, liegt die Ursache in einer mangelhaften oder fehlenden Funktion der Haarzellen begründet. Durch den Ausfall der Hörsinneszellen wird die Übertragungskette unterbrochen. Die einfallenden Schallwellen können nicht mehr in Nervenaktionspotentiale umgesetzt werden, der Hörnerv bleibt stumm, obwohl er und die zentrale Hörbahn unversehrt geblieben sind [Lenarz, 1998a].

### **2.4 Indikationen zur Cochlea-Implantation**

Für die Versorgung mit einem CI kommen Patienten in Betracht, die an einer beidseitigen Innenohrtaubheit oder einer hochgradigen Schwerhörigkeit leiden und von einem herkömmlichen Hörgerät nicht genügend profitieren [Lehnhardt, 1986].

Alle Implantatkandidaten durchlaufen präoperativ verschiedene Voruntersuchungen, mit dem Ziel, die Eignung für eine CI-Implantation abzuklären [Banfai, 1985]. Zunächst muss eine allgemeine OP- und Narkosefähigkeit gegeben sein. Im Einzelfall kann die Implantation auch in Lokalanästhesie durchgeführt werden.

Weiterhin muss die Funktionsfähigkeit des Nervus cochlearis erhalten geblieben und die zentrale Hörbahn intakt sein. Nur dann besteht die Möglichkeit, mit

Hilfe eines CIs die verbliebenen Nervenfasern elektrisch zu reizen und dadurch Höreindrücke auszulösen. Das CI ersetzt als elektrische Reizprothese die Funktion der ausgefallenen Sinneszellen.

Um für das Implantat ein sicheres und infektionsfreies Lager zu finden, müssen im Mittelohr implantierbare Verhältnisse bestehen [Steinert, 1986]. Akut entzündliche Prozesse oder chronische Infekte können eine Kontraindikation zur Implantation darstellen.

Hinreichende persönliche Motivation und Intelligenz des Patienten wurden Mitte der 80-er Jahre, bei damals noch geringen Erfahrungen, für nötig gehalten, um die nachfolgende Lernarbeit mit dem CI zu bewältigen [Steinert, 1986].

Anfänglich empfahl man ausschließlich postlingual ertaubte Erwachsene zur Cochlea-Implantation [Maddox et Porter, 1983]. Doch mit zunehmender Erfahrung und stetiger Verbesserung der Implantate wurden die Grenzen der Indikation ständig weiter gesteckt.

Im Zuge der Weiterentwicklung wurden auch resthörige Patienten versorgt. Verschiedene Studien kamen zu dem Ergebnis, dass die Implantation resthöriger Patienten mit einem CI meistens sinnvoller ist als die bestmögliche Versorgung mit einem Hörgerät und ein besseres Hörvermögen erlaubt [Klenzner et al., 1999; Laszig et Klenzner, 1997; Müller-Deile et al., 1998; Ruh et al. 1997]. Nach Klenzner [1999] haben resthörige Patienten bessere Voraussetzungen als taube, einen maximalen Vorteil aus dem Implantat zu ziehen.

Postlingual Ertaubte oder Resthörige können, was Gehörlosen verwehrt ist, Hören und Sprechen auf natürliche Weise erlernen und ein Sprachgedächtnis sowie die Hörbahn entwickeln. „Linguistische Kompetenz, Verfügbarkeit des mentalen Lexikons und die Kenntnis der syntaktischen Regeln der Sprache sowie die Anwendung semantischer Inhalte beeinflussen die zentrale Sprachverarbeitung und spielen eine wichtige Rolle in der Spracherkennung“ [Werra et al., 1995]. Hieraus wird abgeleitet, dass sprachkompetente Patienten postoperativ ein besseres Verständnis erreichen müssten als taub geborene. Hierzu wäre ergänzend anzumerken, dass die Wahrnehmung, wie sie durch ein CI vermittelt wird, nicht mit der eines Normalhörenden gleichzusetzen ist. Ein taub geborenes Kleinkind kann sich daher möglicherweise, wenn es die Sprache

über das CI erlernt, auf die Eigenheiten des CIs viel besser einstellen als dies einem Erwachsenen möglich sein dürfte.

Bezüglich der Implantation von Resthörigen gilt in Würzburg als Grenze eine Sprachverständlichkeit von weniger als 30 % Freiburger Einsilber bei einer Lautstärke von 80 dB [Scholtz et al., 2000].

## **2.5 Geschichte und Entwicklung des Cochlea-Implantats**

Die Geschichte des Cochlea-Implantats begann in den 40er Jahren des vergangenen Jahrhunderts. Man hatte erkannt, dass bioelektrische Ströme, die sogenannten Mikrofonpotentiale, bei der Überleitung der akustischen Information vom Sinnesorgan zum Hörnerv auftreten [Wever et Bray, 1936]. Auch in den Aktionspotentialen des Hörnervs spiegelt sich eine Änderung des Polarisationszustandes wider. Diese Polarisationsänderung kann durch eingeprägte Ströme erzwungen werden. Dadurch wird es möglich, auch trotz ausgefallener Haarzellen hören zu können.

Etwa 20 Jahre später befassten sich Eyries und Djourno ebenfalls mit der Thematik. Djourno berichtete 1957 in einer Veröffentlichung von der Möglichkeit, im Tierversuch den Nervus ischiadicus monopolar zu stimulieren. Er vermochte durch die intakte Haut hindurch auf induktivem Weg Aktionspotentiale auszulösen. In weiterentwickelter Form findet man diese induktive Übertragung in heutigen Implantatsystemen in der transkutanen Informationsübertragung von der äußeren Sende- zur inneren Empfängerspule wieder. Djourno glaubte, dieses Prinzip bei Gehörlosen zum Erlangen einer Hörempfindung einsetzen zu können, einen intakten Hörnerv vorausgesetzt. Wie EEG-Registrierungen zeigten, war es ihm an Kaninchen gelungen, künstlich generierte Potentiale des Hörnervs abzuleiten [Lehnhardt, 1998].

Der erste Patient wurde daraufhin am 25.02.1957 mit einem Cochlea-Implantat versorgt. Die aktive Elektrode wurde direkt dem freigelegten Hörnerv angelegt. Die Masseelektrode wurde, wie auch heute noch, im Musculus temporalis versenkt [Djourno et Eyries, 1957]. Diese frühe Form des CIs war im Vergleich zu

den heute sehr komfortablen, kleinen, tragbaren Prozessoren nur stationär zu benutzen. Der Patient hörte verschiedene Geräusche, allerdings nur in bestimmten Frequenzbereichen. Nach intensivem Üben konnte er einzelne Wörter verstehen [Lehnhardt ,1998].

## **2.6 Aufbau und Funktionsweise eines CI-Systems**

Der Aufbau und die Funktionsweise eines CI-Systems werden hier am Beispiel eines Systems der Firma MED-EL erläutert.

Das Cochlea-Implantat COMBI 40 (C40) bzw. COMBI 40+ (C40+) der Firma MED-EL besteht, wie alle CI-Systeme, aus einer äußeren und einer implantierten Komponente. Der äußere Anteil setzt sich zusammen aus dem Mikrophon, dem Sprachprozessor, der Senderspule und den entsprechenden Verbindungskabeln. Als Sprachprozessoren verwendeten die Patienten früher den Taschenprozessor CIS PRO+ und seit seiner Einführung 1998 den neueren HdO(Hinter-dem-Ohr)-Sprachprozessor TEMPO+. Zum implantierten Anteil zählen der Empfänger sowie die Reiz- und die Referenzelektrode.

Abb. 3 zeigt den Aufbau und die Funktionsweise des COMBI 40+ mit dem Taschenprozessor CIS PRO+ und dem HdO-Sprachprozessor TEMPO+. Die einfallenden Schallsignale werden vom Mikrophon aufgenommen (1), zum Sprachprozessor geleitet (2) und entsprechend einer bestimmten Kodierungsstrategie verarbeitet (3). Bei der im COMBI 40+ verwendete Sprachkodierungsstrategie handelt es sich um die Continuous Interleaved Sampling (CIS) Strategie. Die so aufbereiteten Signale werden über ein Kabel zur Senderspule geführt (4) und induktiv zum Implantat übertragen (5). Die Elektronik im Empfänger wandelt die Signale in Stimulationsimpulse um (6) und leitet sie zur aktiven Elektrode in der Scala tympani (7).

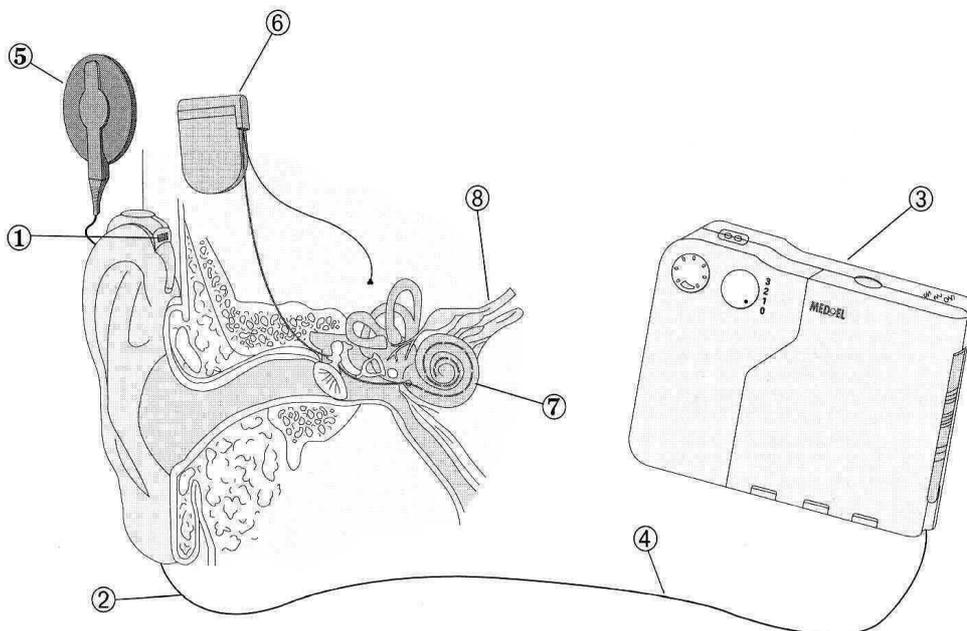
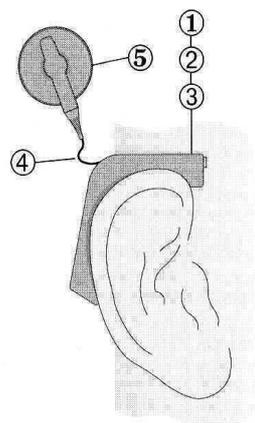


Abb. 3: Aufbau und Funktionsweise des COMBI 40+ mit dem Taschenprozessor CIS PRO+ und dem HdO-Sprachprozessor TEMPO+ [MED-EL, 2000]



- (1) Mikrophon
- (2) Verbindung: Mikrophon-Prozessor
- (3) Sprachprozessor
- (4) Verbindung: Prozessor-Senderspule

- (5) Senderspule
- (6) implantierter Empfänger
- (7) aktive Elektrode
- (8) Hörnerv

Die Stimulationsrate des COMBI 40+ beträgt maximal 18180 Pulse pro Sekunde [Zierhofer et al., 1997]. Auf der aktiven Elektrode sind 12 aktivierbare Elektrodenkontakte angeordnet, die abhängig vom Reiz den Hörnerv an verschiedenen Stellen stimulieren. Im Hörnerv werden dadurch Aktionspotentiale ausgelöst, die wie beim Normalhörenden zum Gehirn weitergeleitet werden (8) und dort zu Hörempfindungen führen. Die Referenzelektrode liegt unter dem Musculus temporalis. Sie ist notwendig, um den Stromkreis zu schließen [MED-EL, 2000].

## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Zusammensetzung des Patientenkollektivs**

Daten von 148 der bislang 449 in Würzburg implantierten CI-Patienten wurden ausgewertet (Stand 03/2003). Aus den nachfolgend dargelegten Gründen konnten nicht alle in Würzburg versorgten CI-Träger in die Studie aufgenommen werden.

Zunächst fielen alle Kinder heraus, da die üblicherweise in der Klinik benutzten Sprachtests nur mit Erwachsenen durchgeführt werden können. Kinder stellen einen Großteil der Würzburger Patienten dar. Zu den Erwachsenen wurde gezählt, wer zum Zeitpunkt der Implantation mindestens 16 Jahre alt war. Dadurch reduzierte sich die Zahl möglicher Probanden auf 239.

Auch bei Erwachsenen, die in einem anderen Kulturkreis aufgewachsen waren, konnten die Tests nicht immer durchgeführt werden, weil sie der deutschen Sprache nicht ausreichend mächtig waren.

CI-Patienten, die an Meningitis, Tumoren oder Missbildungen des Innenohres litten, wurden ebenfalls ausgeschlossen. Von diesen Patienten konnte nicht vorausgesetzt werden, dass sie sich wie die Mehrzahl der Patienten verhalten würden. Der Einschluss von Patienten mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften hätte bei der Bildung von kleinen Untergruppen zu erheblichen Verzerrungen führen können, je nachdem, welcher Untergruppe diese Patienten zufälligerweise zugeordnet werden würden. Es erschien daher sinnvoll, der Untersuchung eine möglichst homogene Stichprobe zu Grunde zu legen.

Bei den verwendeten Implantaten handelte es sich um die Modelle C40 oder C40+ der Firma MED-EL. Das ältere Modell C40 besitzt eine Elektrode mit 8 Elektrodenkontakten. Die Standardvariante des C40+ hat eine Elektrode mit 12 Elektrodenkontakten, ist allerdings auf Grund der engeren Elektrodenabstände mit 31,5 mm nur 0.7 mm länger. Lagten keine erschwerenden Verhältnisse vor, dann konnten Standardelektroden implantiert werden. Eine Einführtiefe von mindestens 30 mm bildet den chirurgischen Standard [Helms et al., 1997]. Falls

sich die Elektrode nicht ganz in die Cochlea einführen ließ, konnte eine kürzere Variante gewählt werden. Unter den ausgewählten Probanden musste insgesamt nur viermal die kürzere Elektrodenvariante implantiert werden. Da es sich um eine so kleine Anzahl handelte, schien es aus den gleichen, bereits oben erwähnten Gründen sinnvoller, diese Patienten ebenfalls auszuschließen. Schließlich fielen noch weitere 16 Patienten heraus, von denen keine Sprachtestergebnisse vorlagen, weil sie nicht zur Anpassung nach Würzburg kamen. Insgesamt verblieben die angegebenen 148 Probanden. Soweit sich fehlende Patientendaten vervollständigen ließen, wurden die Patienten einbestellt und getestet.

### **3.2 Promontorialtest**

Der Promontorialtest dient der Überprüfung der peripheren und zentralen Hörbahn durch elektrische Stimulation des Hörnervs [Battmer et al., 1986]. Ein CI ist nur dann indiziert, wenn der Hörnerv funktionsfähig ist [Lenarz, 1998b]. Daher spielt der Promontorialtest eine wichtige Rolle im Rahmen der Voruntersuchungen [Battmer, 1986].

Zu Beginn der Voruntersuchung wurden die Patienten schriftlich über den Ablauf informiert. Zur Elektrostimulation des Nervus cochlearis wird in Würzburg seit 1993 routinemäßig ein modifizierter 'Promontorialtest' durchgeführt. Der Test wurde in einer für den Patienten entspannten Sitz-/Liegeposition durchgeführt.

Der Gehörgang des Patienten wurde mit steriler Kochsalzlösung gefüllt und mit einer Ohrolive verschlossen. In die Ohrolive war eine Elektrode eingelassen, die plan mit dem innenliegenden Ende der Ohrolive abschloss und von der Kochsalzlösung umspült wurde. Die Referenzelektrode wurde auf der Stirn des Patienten befestigt. Ein Isolationsverstärker gewährleistete die sicherheitstechnisch wichtige galvanische Trennung zwischen Patient und Meßsystem.

Die Teststromstärken konnten zwischen 0 und 1000  $\mu\text{A}$  variiert werden. Getestet wurde normalerweise mit einer Frequenz von 125 Hz. Die Stromstärke

wurde bei Null beginnend langsam erhöht. Bei Patienten mit intaktem Hörnerv wurde im Allgemeinen irgendwann die Schwelle zum Hören überschritten. Der Strom wurde dann weiter erhöht, bis entweder die Grenze von 1000  $\mu\text{A}$  erreicht wurde oder der Patient angab, laut zu hören. Konnte der Patient bei einer Frequenz von 120 Hz keine Hörempfindung wahrnehmen, so wurde die Frequenz auf 65 oder 32 Hz erniedrigt und das oben beschriebene Vorgehen wiederholt. Die Lautheit der Stimuli wurde mit dem Kategorien-Unterteilungsverfahren nach Heller, von Moser unter dem Namen Würzburger Hörfeld (WHF) in die Audiometrie eingeführt [Moser, 1987], erfasst. Die Lautheitsurteile wurden direkt auf Millimeterpapier über dem Stimulationsstrom abgetragen. Auf diese Weise ließ sich unmittelbar erkennen, wie schnell die Lautheits-Strom-Kennlinie anstieg, so dass die Stimuli sehr effizient gesetzt werden konnten. Als MCL (Most Comfortable Level) und THR-Wert (Threshold) wurden diejenigen intra- oder extrapolierte Stromwerte genommen, die einer Lautheitsempfindung von 35 bzw. 0 Hel entsprachen. Die angegebenen Dynamikwerte berechneten sich aus der Differenz zwischen dem Strompegel für angenehme Lautheit (MCL-Wert) und der Schwelle (THR-Wert).

Daran anschließend wurde der TDL-Test durchgeführt. TDL steht für Time Difference Limen. In der Regel wurde mit Strömen von der Größe des MCL-Wertes stimuliert. Falls der MCL-Wert nicht erreicht werden konnte, wurde der maximal mögliche Strom von 1000  $\mu\text{A}$  verwendet. Die Aufgabe für den Probanden bestand darin, aus drei Sinuszügen den längeren zu erkennen. Zwei der drei Sinuszügen waren konstant gleich lang, nämlich 200 ms, der dritte wurde variiert. Die Pause zwischen den einzelnen Sinuszügen betrug konstant 550 ms. Die Position des variabel langen Stimulus wurde nach dem Zufallsprinzip bestimmt. Die Dauer des längeren Sinuszuges wurde adaptiv solange erniedrigt, bis der Patient nicht mehr zwischen den einzelnen Sinuszügen unterscheiden konnte. Als TDL-Wert wurde die kleinste, eben noch erkannte, zeitliche Differenz zwischen dem längeren und den beiden kürzeren Sinuszügen genommen. Kleine TDL-Werte sprachen für eine Hörempfindung. Werte unter 100 ms wurden als prognostisch günstig gewertet. Bei hohen TDL-Werten kann unterstellt werden, dass der Strom gefühlt wird.

Der hier beschriebene modifizierte ‘Promontorialtest’ gilt auch als nicht-invasiver, extratympanaler Test. Das Trommelfell der Patienten wird im Gegensatz zum klassischen Promontorialtest, bei dem eine Elektroden auf das Promontorium gelegt wird, nicht verletzt [Knaus et al., 2000]. Diese Methode ist nicht nur angenehmer für den Patienten, sondern auch schnell durchführbar und liefert in Kombination mit der Lautheitsskalierung zuverlässige Ergebnisse [Müller et Schön, 1994].

### **3.3 Medikation**

Die Implantation eines CIs ist ein chirurgischer Eingriff, der i.d.R. in Vollnarkose erfolgt. Wie jede andere Routineoperation, birgt auch dieser Eingriff gewisse Risiken.

Seit Januar 2000 wurde den Patienten bei Verdacht auf leichte Einblutungen in die Cochlea Cortison verabreicht. Das Cortison wurde kurz vor oder nach Eröffnung der Cochlea injiziert. Es wurde ausschließlich Soludecortin H® verwendet. Die Dosis betrug i.d.R. 500 mg bezogen auf 70 kg Körpergewicht. Abhängig von der Einschätzung des Operateurs wurde die Medikation bis maximal drei Tage postoperativ fortgeführt.

### **3.4 Sprachaudiometrische Untersuchungen**

In Würzburg wurden verschiedene Sprachverständlichkeitstests mit dem Ziel durchgeführt zu prüfen, wie gut die Patienten mit dem CI verstehen und welche Fortschritte sie machen. Die Tests fanden in einer Audiologiekabine statt, welche die Anforderungen der ISO8253a Norm erfüllte.

Die Stimuli wurden über einen Audiometrie-Lautsprecher auf Ohrhöhe angeboten. Die zu untersuchenden Probanden saßen im Abstand von 1 m vor dem Lautsprecher. Abb. 1 zeigt den Versuchsaufbau.

Manche Patienten versuchten sich vorzubeugen und so der Schallquelle näher zu kommen, um auf diese Weise besser verstehen zu können. Es wurde daher darauf geachtet, dass die anfänglich eingenommene aufrechte Körperhaltung während des Versuchs beibehalten wurde. Alle Untersuchungen wurden im Freifeld durchgeführt.

Im Einzelnen wurden für die Durchführung der Sprachtests die folgenden Geräte verwendet:

- Audiometer: Westra CAD-03
- Audiometerbox: Westra LAB 501 (Sprachschaal)
- IBM-kompatibler Rechner mit CD-Rom-Laufwerk
- Westra CD Nr. 1 (Freiburger Zahlen/Einsilber)
- Westra CD Nr. 15 (HSM-Satztest)

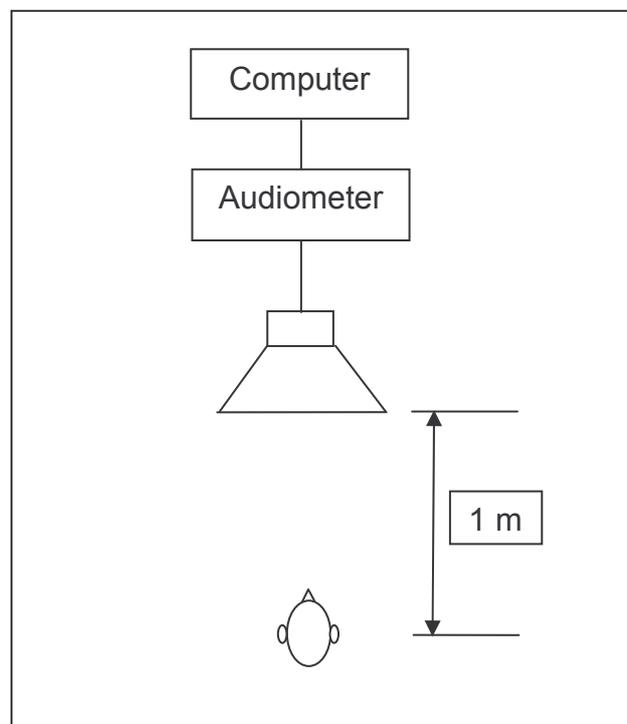


Abb. 4: Versuchsaufbau

### **3.5 Sprachmaterial**

Als Testmaterial für die CI-Patienten dienten die gängigen, auch in Würzburg verwendeten Sprachverständnistests: Freiburger Zahlentest, Freiburger Einsilbertest und der HSM-Satztest. In der Sprachaudiometrie wird heute allgemein mit Zahlen, Einsilber und Sätzen getestet [Lehnhardt, 1996]. Die Tests wurden drei Tage nach Erstanpassung, und dann nach 1, 3, 6, 12 Monaten durchgeführt und danach im jährlichen Abstand. Der Freiburger Einsilbertest wurde aufgrund seines hohen Schwierigkeitsgrades in der Regel erst ab etwa vier Wochen nach Erstanpassung eingesetzt, damit schlechter verstehende Probanden nicht unnötig frustriert wurden. Sehr motivierte Patienten mit einem guten Sprachverständnis wurden dagegen schon drei Tage nach Erstanpassung mit dem Einsilbertest untersucht. Die Testergebnisse wurden in Prozentzahlen umgerechnet, als solche auf den entsprechenden Testbögen protokolliert und in die Datenbank übertragen.

#### **3.5.1 Freiburger Zahlentest**

Die Zahlen aus dem Freiburger Testmaterial wurden mit Lautstärken von 60 und 80 dB angeboten. Für jeden Pegel wurden 2 Gruppen mit jeweils 10 zweistelligen Zahlen vorgespielt. Die Einzelergebnisse wurden für jede Lautstärke gemittelt. Insgesamt stand ein Testinventar von 10 verschiedenen Gruppen zur Verfügung. Innerhalb einer Gruppe wiederholen sich die Zahlen nicht.

#### **3.5.2 Freiburger Einsilbertest**

Die Freiburger Einsilber wurden nur bei einer Lautstärke, nämlich bei 80 dB getestet. Hier standen 20 Gruppen mit jeweils 20 Einsilbern zur Verfügung. Jeder Proband musste pro Untersuchungstermin drei Listen abhören. Für die

Auswertung in dieser Arbeit wurden die Mittelwerte aus den drei Messungen eines Messzeitpunktes verwendet.

### **3.5.3 HSM-Satztest**

Der HSM-Satztest wurde aus dem Innsbrucker Satztest entwickelt. Er entstand vor allem aus der Notwendigkeit heraus, eine ausreichende Anzahl an Testsätzen für die wiederholte Erfassung der Sprachverständlichkeit von CI-Patienten zur Verfügung zu haben [Hochmair-Desoyer et al., 1997]. Der HSM-Satztest besteht aus 30 Testlisten zu je 20 Sätzen und drei zusätzlichen Übungslisten zu je 10 Sätzen. Die Sätze sind unterschiedlich lang. Die kürzesten Sätze sind drei Wörter lang, die längsten 8 Wörter. Die Silbenzahl der Wörter variiert ebenfalls. Die kürzesten Wörter sind Einsilber, die längsten haben vier Silben. In jeder Liste finden sich Frage-, Aussage- und Ausrufesätze, die in bunter Reihenfolge aufgesprochen wurden. Dadurch spiegelt sich die Vielfalt der Alltagssprache zumindest teilweise in den Testlisten wider. Andererseits sind die Sätze in allen Listen nach dem genau gleichen Schema angeordnet. Dadurch enthält jede Liste auch insgesamt gleich viele, nämlich 106 Wörter. Die Aufnahme- geschwindigkeit betrug 3,6 Silben pro Sekunde. Die Sprechgeschwindigkeit ist damit etwas langsamer als in der normalen Umgangssprache. Möglicherweise kompensiert die niedrigere Sprechgeschwindigkeit zumindest teilweise den fehlenden situativen Kontext, auf den der Proband im Alltag als Verständnishilfe zurückgreifen kann. Insgesamt ist das Sprechtempo für Hörbehinderte aber immer noch sehr hoch. Die einzelnen Sätze sind also sehr viel schwieriger zu verstehen als in dem früher verwendeten Innsbrucker Satztest, der langsamer und betonter vorgelesen wurde.

Je Untersuchung wurde den Patienten eine Liste mit einer Lautstärke von 70 dB vorgespielt. Sie mussten jeden Satz nachsprechen, und die Anzahl der korrekt wiederholten Wörter wurde notiert. Die Verständnisleistung wurde als Prozentzahl der richtig wiedergegebenen Wörter bezogen auf die Gesamtzahl der Wörter angegeben.

### **3.6 Datenerfassung**

Die Sammlung der Patientendaten erfolgte in der CI-Datenbank der Klinik. Die Daten wurden anhand der Patientenakten und der vorhandenen wissenschaftlichen Dokumentation überprüft und im Bedarfsfall ergänzt oder korrigiert.

In die Datenanalyse wurden ausschließlich unilaterale Messergebnisse einbezogen. Unilateral implantierte Patienten, die zusätzlich zum CI auf der anderen Seite ein Hörgerät trugen, schalteten dieses vor Testbeginn aus.

Bei bilateral implantierten Patienten wurden nur die Untersuchungsergebnisse für das zuerst implantierte Ohr ausgewertet. Das Hören mit dem zweitimplantierten Ohr fiel den Patienten möglicherweise leichter, da sie bereits mit dem erstimplantierten Ohr Erfahrungen sammeln konnten. Eventuell würden dadurch zu günstige Ergebnisse erzielt werden.

Patienten mit CI-Revisionen wurden auch nach der zweiten Operation fortlaufend bezüglich des ersten Implantationsdatums getestet. Im Einklang mit anderen Untersuchungen [Papadopoulos, 2003] wurde davon ausgegangen, dass der Patient nach erfolgreicher Revision an sein altes Sprachverständnis anknüpfen konnte.

### **3.7 Statistische Grundlagen**

Die numerischen Berechnungen wurden mit den entsprechenden Funktionen in Excel durchgeführt. Insbesondere wurden lineare Regressionen mit den Funktionen RGP und TREND berechnet. Die Funktion RGP zur Berechnung der linearen Regression liefert als Ergebnis auch die so genannte F-Statistik, das Verhältnis aus 'Treatment'-Varianz und Fehlervarianz. Die Signifikanz der Ergebnisse wurde mit den entsprechenden in Excel enthaltenen Funktionen zur Berechnung der F- und T-Verteilung ermittelt.

Die Funktion TREND in Excel berechnete wie RGP einen linearen Trend, sie lieferte aber gleichzeitig für einen vorgegebenen Abszissenwert einen Schätz-

wert für die Ordinate. Die Funktion wurde benutzt, um Werte der Sprachverständlichkeit zu schätzen. Dieses Vorgehen scheint aus drei Gründen vorteilhaft. Erstens liegen für alle Patienten in der Regel mehrere Messwerte vor, so dass ein mit Hilfe der linearen Regression geschätzter Wert kleinere Varianz aufweist als ein einzelner Wert. Zweitens kann die Auswertung auch für einen Zeitpunkt durchgeführt werden, an dem gar keine Messung stattgefunden hat. Diese Freiheit lässt drittens auch Patienten auswerten, die aus unterschiedlichen Gründen nicht zu einer Regeluntersuchung erschienen sind. Auf diese Weise lässt sich die Zahl der verwertbaren Daten vergrößern. Als Bezugszeitpunkt wurde zwei Jahre nach Erstanpassung gewählt.

Damit eine Regressionsgerade berechnet werden konnte, mussten mindestens zwei Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten vorliegen. Für den Fall, dass nur ein Messwert vorlag, wurden die Daten des Patienten nur dann einbezogen, falls die Untersuchung zufälligerweise zwei Jahre nach Erstanpassung stattgefunden hatte.

Der Zweijahreszeitpunkt wurde gewählt, da zum einen für diesen Zeitpunkt sehr viele Testergebnisse vorlagen und zum anderen der Zeitpunkt so spät liegt, dass die anfänglichen raschen Zugewinne an Sprachverständlichkeit so weit abgenommen hatten, dass nur noch mit kleinen Zuwächsen zu rechnen war.

### **3.8 Auswertung der Daten**

Zur Untersuchung der Zeitabhängigkeit der Sprachverständlichkeit wurden der Freiburger Zahlentest bei 60 und 80 dB, der Freiburger Einsilbertest und der HSM-Satztest herangezogen. Für jeden Test wurden alle zu einem Messzeitpunkt vorliegenden Werte gemittelt und die Standardabweichungen geschätzt. Die Regressionsgerade wurde durch alle Messwerte gerechnet, wobei die Zeitwerte zuvor einer logarithmischen Transformation unterzogen wurden.

Zur Auswertung des Einflusses der Ertaubungsdauer und der Ergebnisse im Promontorialtest auf die Sprachverständlichkeit wurde der Einsilbertest heran-

gezogen. Er gilt als Standardtest in der Audiometrie. Aufgrund seines Schwierigkeitsgrades ist ein hoher Differenzierungsgrad zwischen den Patienten möglich. Die Sprachverständlichkeit der Patienten im Einsilbertest wurde gegen die Ertaubungsdauer bzw. gegen die einzelnen Ergebnisse im Promontorialtest, nämlich gegen den gemessenen MCL- und THR- Wert, die errechnete Dynamik sowie gegen den ermittelten TDL-Wert aufgetragen. Dabei wurde in allen untersuchten Fällen ein Wert für die Sprachverständlichkeit zum Zeitpunkt zwei Jahre nach Erstanpassung verwendet, der mit Hilfe der Funktion TREND in Excel errechnet wurde (siehe Kapitel 3.7.).

Außerdem wurde der Einfluss des Cortisons auf die Entwicklung der Sprachverständlichkeit untersucht. Dazu wurden die Patienten in ein Cortison- und ein Nicht-Cortison-Kollektiv aufgespaltet, und für jeden der vier durchgeführten Sprachverständlichkeitstests wurde jeweils der Mittelwert zum Zeitpunkt zwei Jahre nach Erstanpassung errechnet. Die einzelnen Werte für die Sprachverständlichkeit wurden auch hier mit der Funktion TREND bestimmt. Es wurden alle erfassten Testergebnisse verwertet. Cortison wurde erst seit dem Jahr 2000 regelmäßig verabreicht. Es erschien sinnvoll, alle auch frühere Testergebnisse, einzubeziehen, um für die Auswertung ein größeres Patientenkollektiv zur Verfügung zu haben. Falls Patienten, die revidiert werden mussten, nur während bzw. nach der zweiten Operation Cortison erhalten hatten, so wurden die nach dieser Operation erhobenen Daten nicht verwertet. Patienten, die zum Zeitpunkt der ersten Operation Cortison erhalten hatten, verblieben in der Cortison-Gruppe, gleich ob sie in einer nachfolgenden Revision Cortison erhielten oder nicht. Dieses Vorgehen beruht auf der Überlegung, dass die Patienten schon nach der ersten Operation von der Cortisongabe profitieren konnten, vorausgesetzt das Cortison hatte einen positiven Einfluss auf das Sprachverstehen. Nach der Revision konnten diese Patienten dann von einem höheren Niveau aus dazulernen als Patienten, denen kein Cortison verabreicht wurde.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Zeitabhängigkeit der Sprachverständlichkeit

Abb. 5 zeigt den Zuwachs der Sprachverständlichkeit mit der Zeit im Freiburger Zahlentest bei 60 und 80 dB SPL. Auf der Abszisse ist der Zehnerlogarithmus der Zeit, die seit Erstanpassung verstrichen ist, abgetragen. Die Prozentwerte auf der Ordinate zeigen, wie gut die Zahlen im Mittel verstanden wurden. Da alle Patienten das CI ganztäglich getragen haben, entspricht die angegebene Zeitspanne weitestgehend auch der Trage- oder Nutzungsdauer.

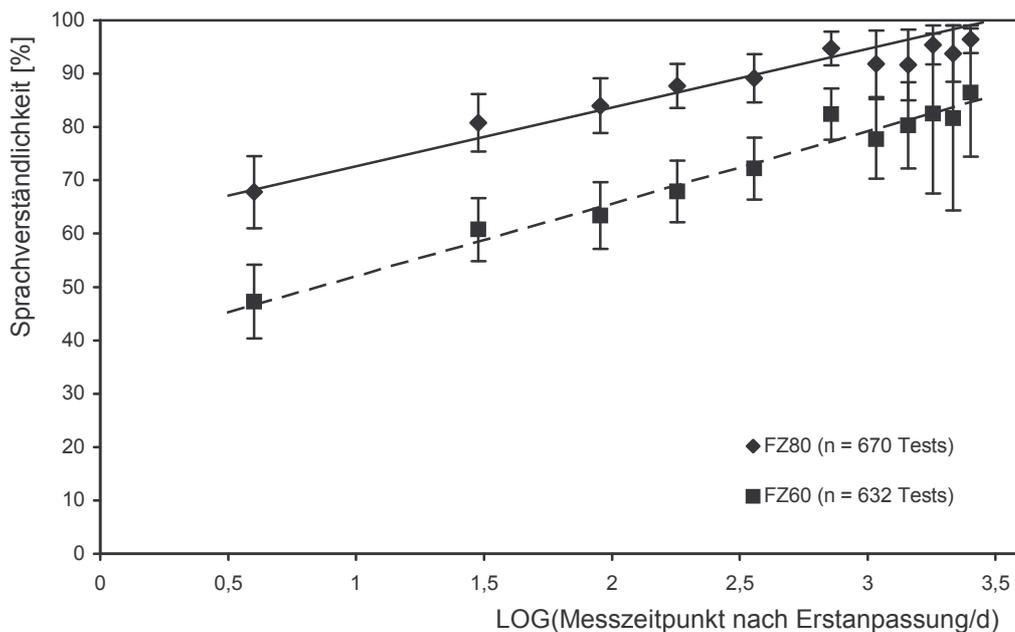


Abb. 5: Sprachverständlichkeit im Freiburger Zahlentest bei 60/80 dB mit 95 %-Vertrauensintervallen der Mittelwerte

Der Logarithmus ist eine streng monoton ansteigende Funktion, deshalb steht ein Punkt, der auf der Abszisse rechts von einem anderen liegt, für eine größere Zeitspanne bzw. längere Tragedauer. Es ist offensichtlich, dass mit zunehmender Tragedauer auch die Werte für die Sprachverständlichkeit ansteigen und zwar gleichgültig, ob die Zahlen laut oder leise angeboten wurden. Die Patienten verstanden umso besser, je länger sie das Implantat benutzt haben. Sie lernten mit der Zeit besser zu verstehen, falls man unter Lernen die zeitlich gerichtete Anpassung versteht, die zu einer höheren Leistung befähigt.

Zusätzlich zu den Messwerten zeigt die Grafik zwei die Messwerte approximierende Regressionsgeraden. Der lineare Anstieg der Sprachverständlichkeit über der Zeit ist für beide Lautstärken hoch signifikant ( $p(60 \text{ dB}) = 1,5 \cdot 10^{-18}$ ;  $p(80 \text{ dB}) = 9,9 \cdot 10^{-18}$ ). Um Missverständnisse zu vermeiden, sei nochmals auf die logarithmisch geteilte Zeitachse hingewiesen. Die Logarithmusfunktion bewirkt eine starke Verzerrung der x-Achse. Per definitionem ist der Zehnerlogarithmus, der hier verwendet wurde, diejenige Zahl, mit der man 10 hoch nehmen muss, damit man das Argument im Logarithmus erhält: z.B.  $\text{LOG}(1) = 0$ ,  $\text{LOG}(10) = 1$  oder  $\text{LOG}(100) = 2$ . In den gerade genannten Beispielen liegt ein besonders einfacher Zusammenhang vor, der Logarithmus zählt die Zahl der Nullen hinter der Eins im Argument ab.

Falls man den dargestellten linearen Zusammenhang akzeptiert, so folgt, dass die Sprachverständlichkeit eines Patienten in der Zeitspanne vom ersten ( $\text{LOG}(1) = 0$ ) bis zum 10. Tag ( $\text{LOG}(10) = 1$ ), vom 10. bis zum 100. Tag ( $\text{LOG}(100) = 2$ ) und vom 100. bis zum 1000. Tag ( $\text{LOG}(1000) = 3$ ) um genau denselben Betrag stieg. Das heißt, während ein Proband zu Beginn der Untersuchungsreihe innerhalb eines relativ kurzen Zeitraumes ziemlich große Fortschritte machte, benötigte er zu einem späteren Zeitpunkt wesentlich länger, um denselben Zugewinn zu erreichen.

Für den Freiburger Einsilbertest, wie auch für den HSM-Satztest wurden die Ergebnisse auf dieselbe Weise wie für den Freiburger Zahlentest ausgewertet. Abb. 6 zeigt die Entwicklung der Sprachverständlichkeit im Freiburger Einsilbertest über der Zeit. Auch hier steigen Werte für die Sprachverständlichkeit mit zunehmender Tragedauer signifikant an ( $p = 5,7 \cdot 10^{-18}$ ).

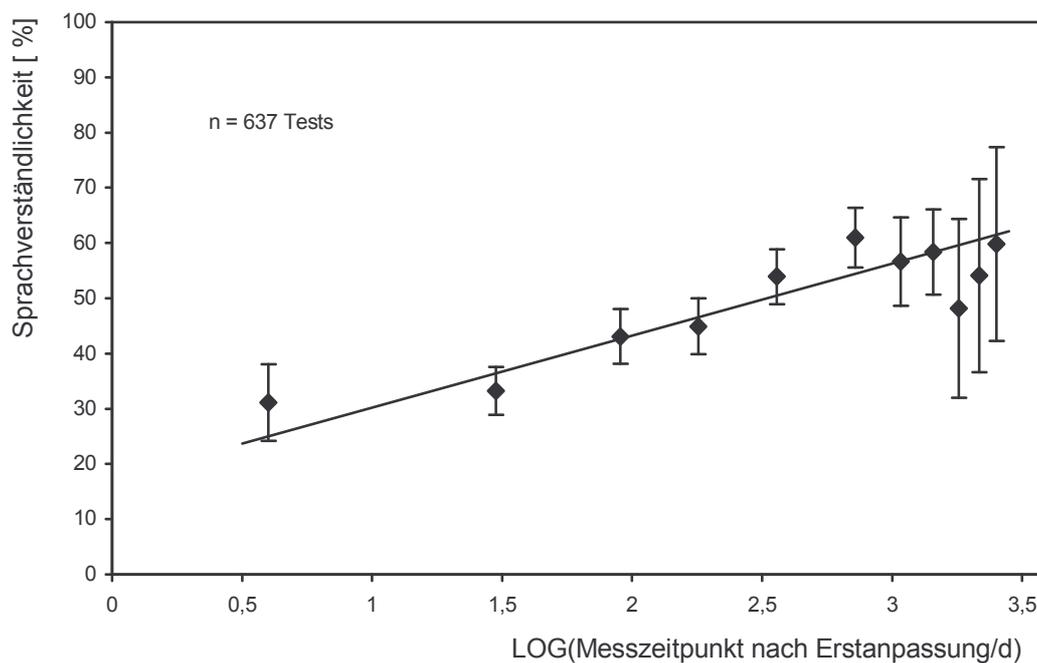


Abb. 6: Sprachverständlichkeit im Freiburger Einsilbertest mit 95 %-Vertrauensintervallen der Mittelwerte

In Abb. 7 sind die Ergebnisse im HSM-Satztest entsprechend der Messzeitpunkte nach Erstanpassung dargestellt. Wie auch in den anderen Sprachtests kann eine hoch signifikante Zunahme der Sprachverständlichkeit über die Messzeitpunkte verzeichnet werden ( $p = 7,5 \cdot 10^{-12}$ ).

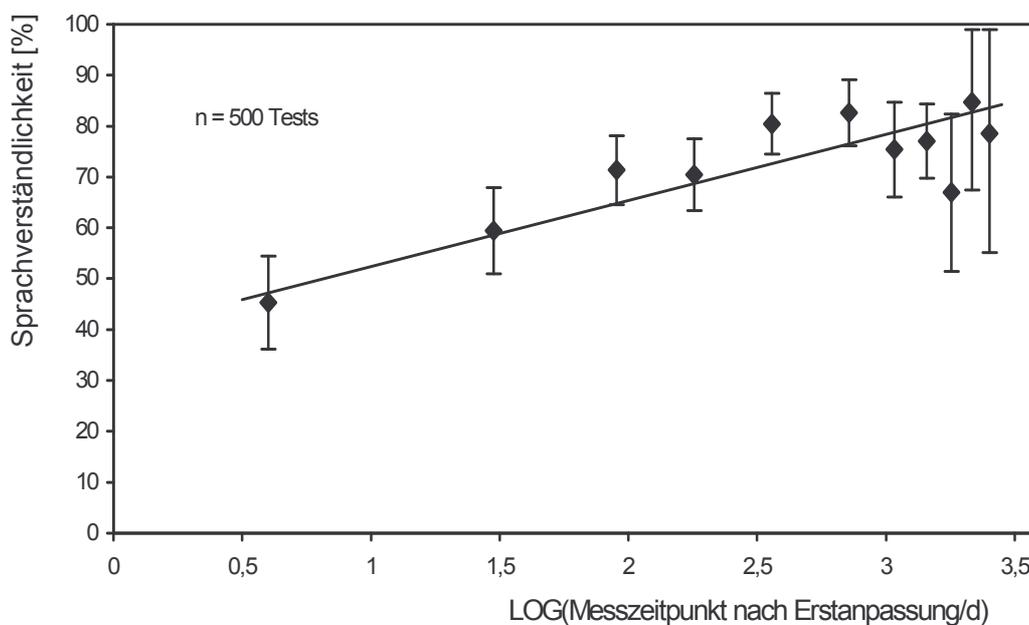


Abb. 7: Sprachverständlichkeit im HSM-Satztest mit 95 %-Vertrauensintervallen der Mittelwerte

## 4.2 Korrelation der verschiedenen Sprachverständlichkeitstests

Die folgenden Streudiagramme zeigen Werte der Sprachverständlichkeit zu jeweils zwei Sprachtests, die während der gleichen Sitzung gewonnen wurden. Im einzelnen wurde der Freiburger Einsilbertest mit dem Freiburger Zahlentest bei 60 dB SPL und dem HSM-Satztest korreliert, wie auch der Freiburger Zahlentest bei 60 dB SPL mit dem HSM-Satztest.

### 4.2.1 Freiburger Einsilber- und Zahlentest bei 60 dB SPL

Abb. 8 zeigt die Korrelation zwischen den Freiburger Einsilbern und den Freiburger Zahlen bei 60 dB SPL. Der Zusammenhang ist hoch signifikant ( $p = 2,3 \cdot 10^{-110}$ ). Bei 50 % Sprachverständlichkeit im Freiburger Einsilbertest verstand ein Proband ungefähr 72 % der Freiburger Zahlen bei 60 dB SPL.

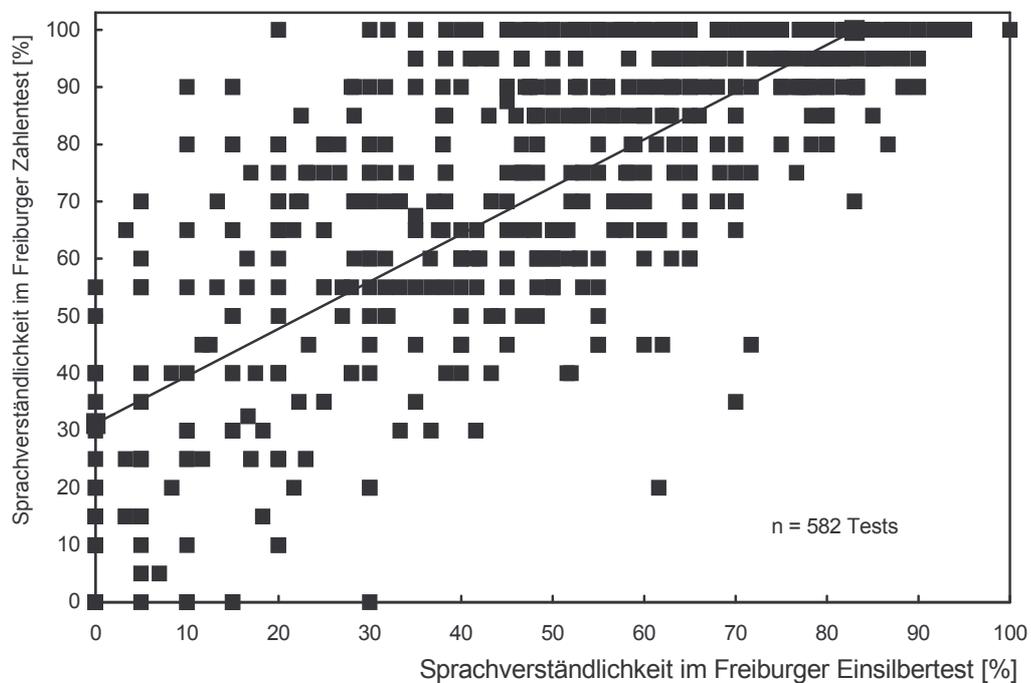


Abb. 8: Korrelation der Ergebnisse im Freiburger Einsilbertest und im Freiburger Zahlentest bei 60 dB SPL

#### 4.2.2 Freiburger Einsilbertest und HSM-Satztest

Abb. 9 zeigt die Korrelation zwischen dem Freiburger Einsilbertest und dem HSM-Satztest. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang ( $p = 1,6 \cdot 10^{-128}$ ). Ein Proband, der 50 % im Freiburger Einsilbertest verstand, erreichte eine Sprachverständlichkeit von ungefähr 69 % im HSM-Satztest.

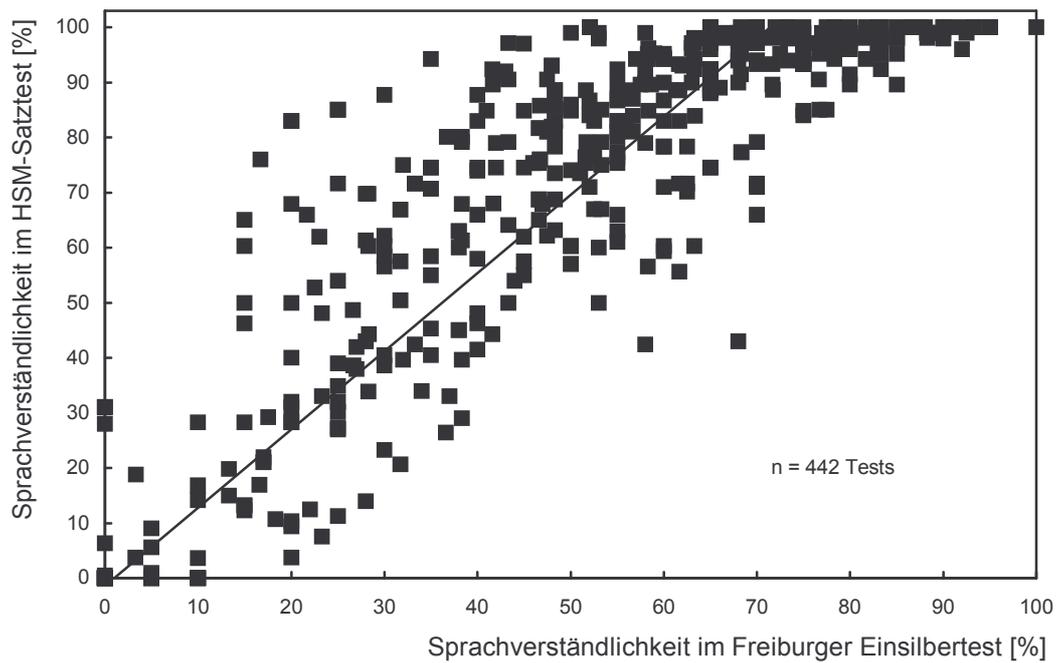


Abb. 9: Korrelation der Ergebnisse im Freiburger Einsilbertest und im HSM-Satztest

### 4.2.3 Freiburger Zahlentest bei 60 dB SPL und HSM-Satztest

Abb. 10 zeigt die Korrelation zwischen dem Freiburger Zahlentest bei 60 dB SPL und dem HSM-Satztest ( $p = 5,6 \cdot 10^{-93}$ ). Bei einer Sprachverständlichkeit von 50 % der Freiburger Zahlen bei 60 dB SPL verstand ein Proband ungefähr 28 % im HSM-Satztest.

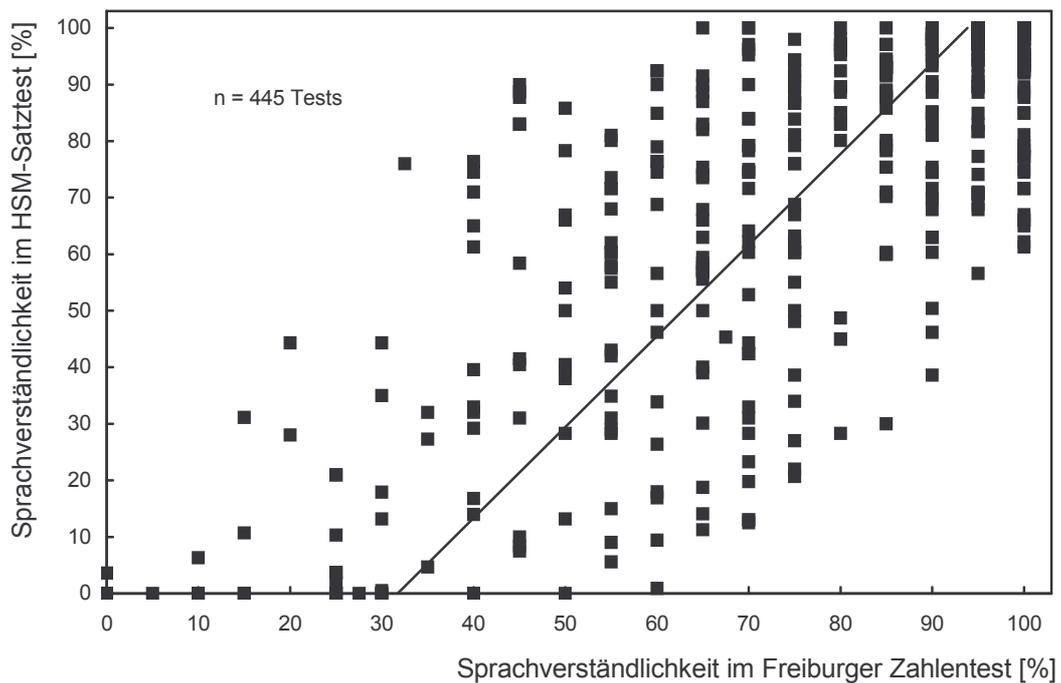


Abb. 10: Korrelation der Ergebnisse im Freiburger Zahlentest bei 60dB SPL und im HSM-Satztest

### 4.3 Verteilung der Ergebnisse im Freiburger Einsilbertest

Abb. 11 zeigt auf der Abszisse die kumulierte absolute Häufigkeit, auf der Ordinate in Prozentwerten die Sprachverständlichkeit im Freiburger Einsilbertest ein Jahr nach Erstanpassung. Jeder Punkt entspricht der Sprachverständlichkeit eines Patienten. Von 86 Patienten lagen Daten vor. Im Diagramm ist zu erkennen, dass 52 % der Patienten ein Jahr nach Erstanpassung mindestens 50 % der Freiburger Einsilber bei 80 dB SPL verstehen. Die miteingezeichnete Regressionsgerade steht für normal verteilte Werte.

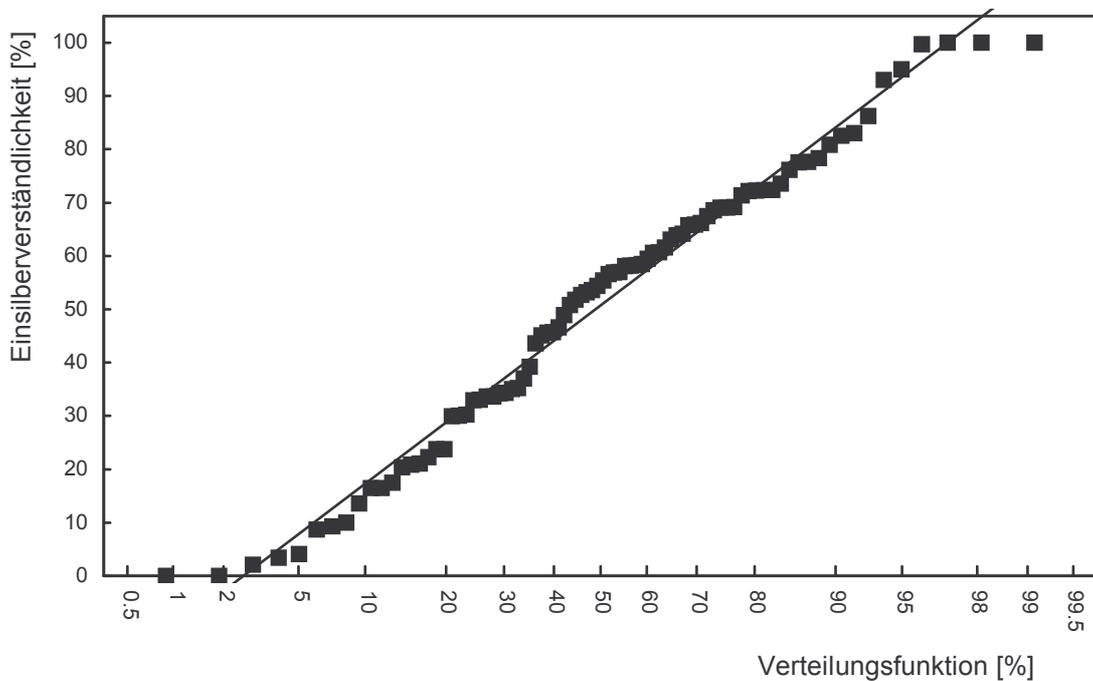


Abb. 11: Verteilung der Ergebnisse im Freiburger Einsilbertest

## 4.4 Einfluss verschiedener Faktoren auf die Sprachverständlichkeit

### 4.4.1 Einfluss der Ertaubungsdauer

Abb. 12 zeigt die Sprachverständlichkeit der Freiburger Einsilber in Abhängigkeit von der Ertaubungsdauer. Diese ist auf der Abszisse in Jahren abgetragen. Die mittlere Ertaubungsdauer beträgt 11,3 Jahre, die Spannweite reicht von 6 Wochen bis zu 55,5 Jahren. Die Ordinate gibt in Prozentwerten die Verständlichkeit im Freiburger Einsilbertest zwei Jahre nach Erstanpassung an. Die Regressionsgeraden, die zur Berechnung der einzelnen TREND-Werte notwendig waren, wurden durchschnittlich aus 4,5 Einzelmessungen berechnet. 103 Testergebnisse flossen in die Auswertung ein.

Wie aus Abb. 8 ersichtlich ist, nahm die Sprachverständlichkeit der Freiburger Einsilber mit zunehmender Ertaubungsdauer ab. Der Zusammenhang ist für das Kollektiv signifikant ( $p = 1,4 \cdot 10^{-03}$ ).

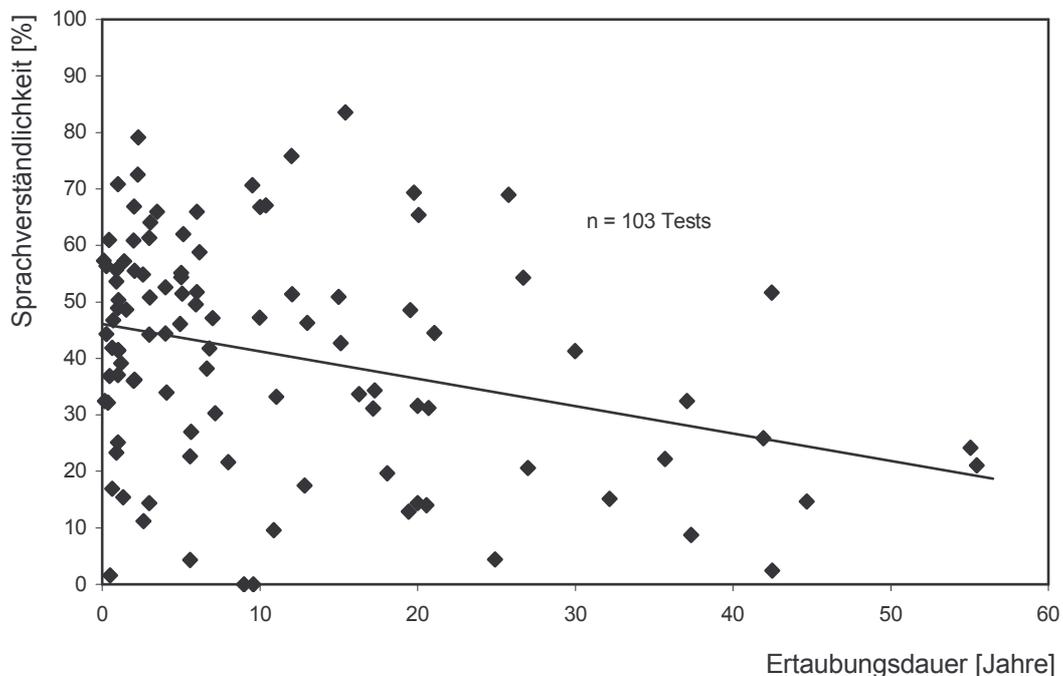


Abb. 12 : Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von der Ertaubungsdauer

#### 4.4.2 Korrelation mit den Ergebnissen im Promontorialtest

Der Einfluss der einzelnen Ergebnisse im Promontorialtest auf die Sprachverständlichkeit wird in Abb. 13-16 dargestellt. Wiederum wurde die Sprachverständlichkeit im Einsilbertest zum Zeitpunkt zwei Jahre nach Erstanpassung mit der Funktion TREND ermittelt und anschließend gegen die Einzelergebnisse im Promontorialtest aufgetragen. In allen Abbildungen fällt gleichermaßen die starke Streuung der Werte um die errechnete Regressionsgerade auf. Zwischen keiner der untersuchten Größen und der Sprachverständlichkeit im Einsilbertest ließ sich ein signifikanter Zusammenhang nachweisen:

$p(\text{MCL}) = 5,1 \cdot 10^{-01}$ ;  $p(\text{THR}) = 4,6 \cdot 10^{-01}$ ;  $p(\text{Dyn}) = 5,5 \cdot 10^{-01}$ ;  $p(\text{TDL}) = 1,3 \cdot 10^{-01}$ .

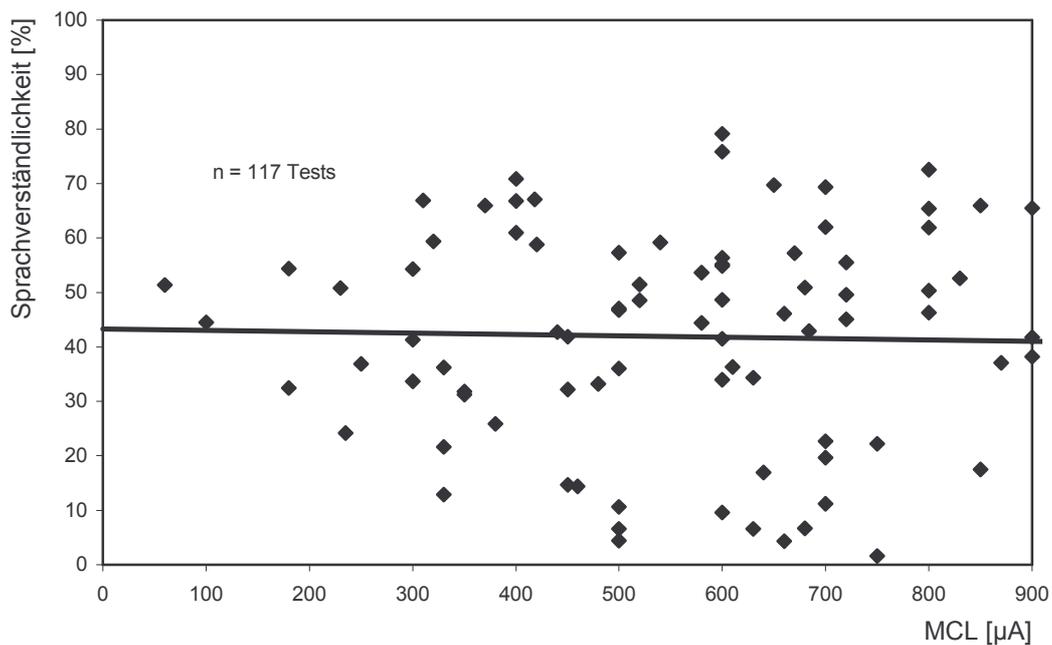


Abb. 13: Einfluss des MCL-Wertes auf die Sprachverständlichkeit

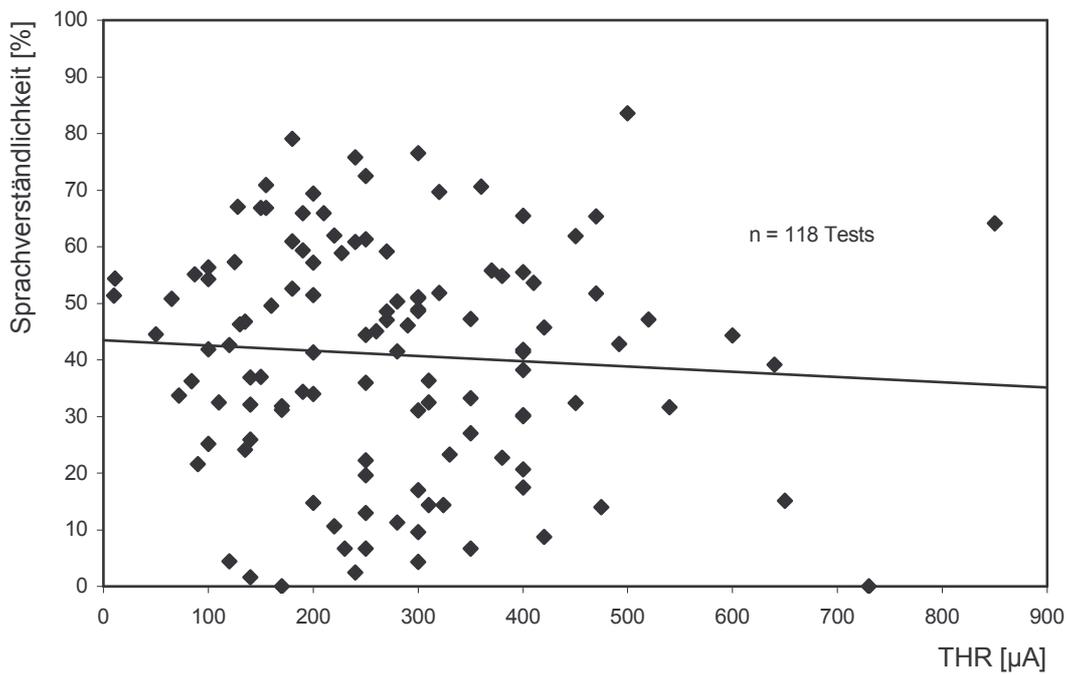


Abb. 14: Einfluss des THR-Wertes auf die Sprachverständlichkeit

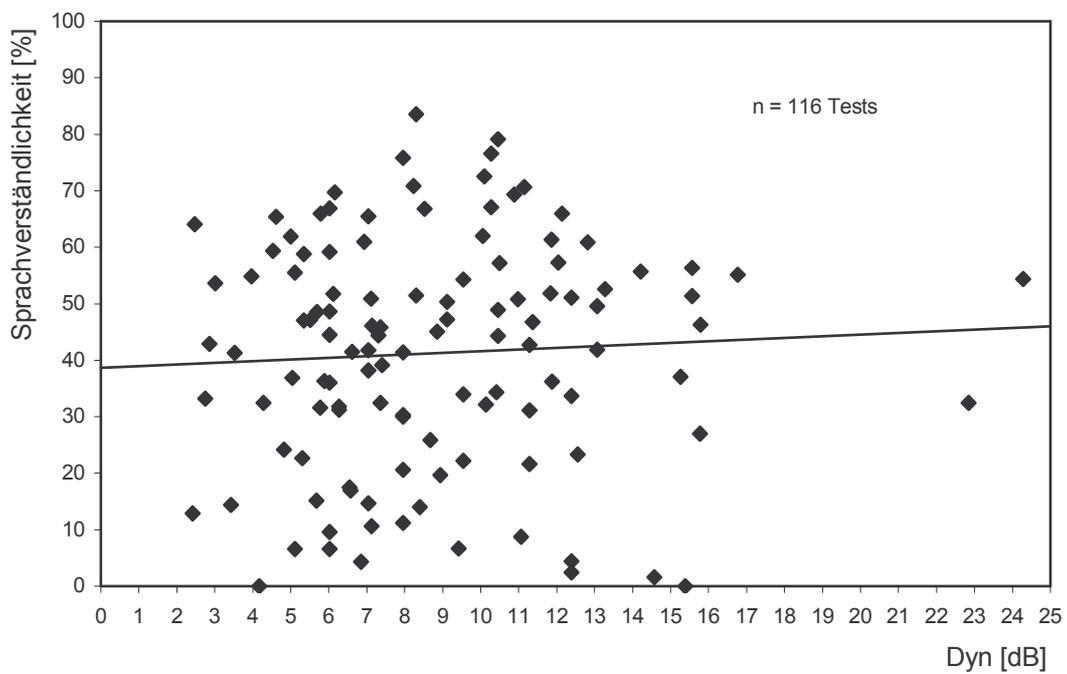


Abb. 15: Einfluss der Dynamik auf die Sprachverständlichkeit

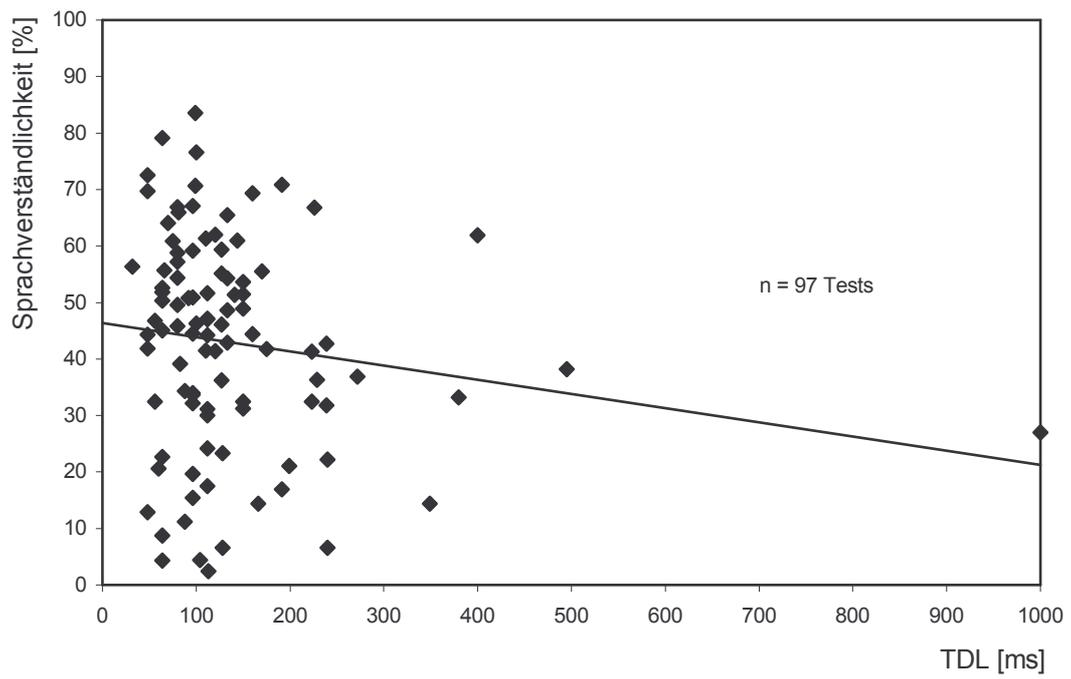


Abb. 16: Einfluss des TDL-Wertes auf die Sprachverständlichkeit

#### 4.4.3 Einfluss der intraoperativen Cortisongabe

Abb. 17 zeigt ein Säulendiagramm zur Sprachverständlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Cortisongabe. Für beide Kollektive wurde entsprechend der verschiedenen Sprachtests jeweils der Mittelwert für die Sprachverständlichkeit zum Zeitpunkt zwei Jahre nach Erstanpassung errechnet. Im Mittel stützen sich die einzelnen TREND-Werte für jeden Probanden auf 3,6 Einzelmessungen. Insgesamt schwankt die Anzahl der Probanden in den einzelnen Stichproben zwischen 71 und 90 für das Kollektiv ohne Cortison und zwischen 40 und 46 für das Kollektiv mit Cortison.

Das Cortison-Kollektiv scheint in allen vier Tests eine höhere Sprachverständlichkeit aufzuweisen. Dieser Trend ließ sich jedoch statistisch nicht absichern. Es bestand keine signifikante Korrelation zwischen den Ergebnissen der Patienten mit und ohne Cortison:

$p(\text{FZ60}) = 0,2$ ;  $p(\text{FZ80}) = 0,1$ ;  $p(\text{FW}) = 0,1$ ;  $p(\text{HSM}) = 0,6$ .

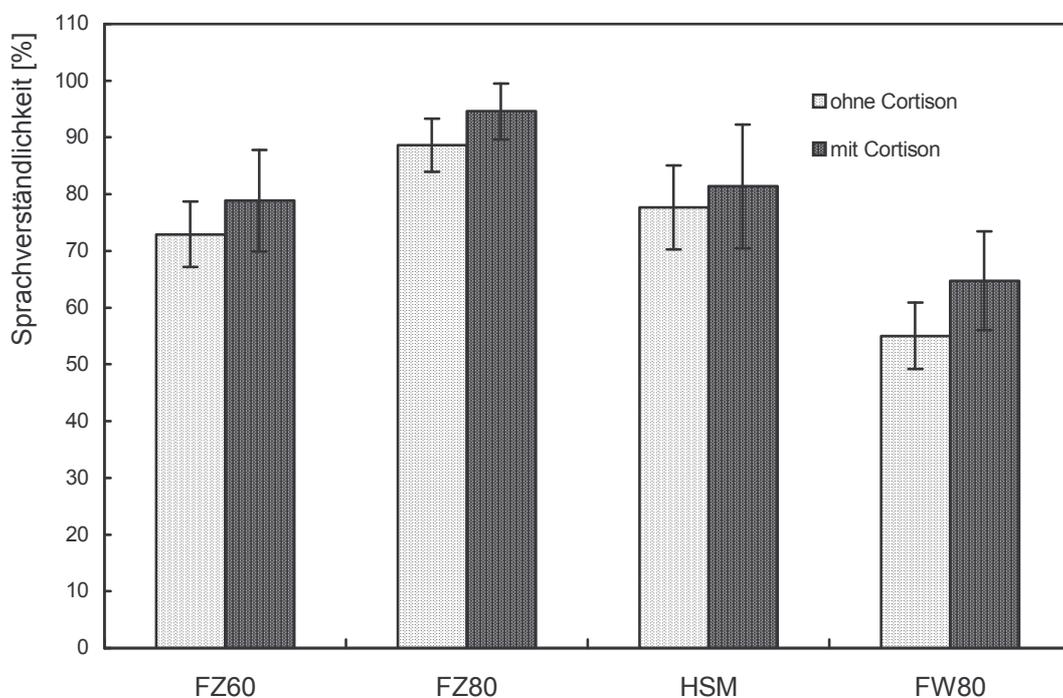


Abb. 17: Einfluss des Cortisons auf die Sprachverständlichkeit mit 95 %-Vertrauensintervallen der Mittelwerte

## **5 Diskussion**

Innenohrprothesen ermöglichen tauben oder hochgradig schwerhörigen Patienten, die durch Taubheit und Schwerhörigkeit bedingte Isolation zu sprengen. [Hirsch et Kameroner, 1986]. Die Cochlea-Implantation hat sich inzwischen als Behandlungsmethode für Erwachsene und Kinder etabliert und findet weltweit Anerkennung [Marangos et Laszig, 1998]. Mehr als 40000 Menschen auf der ganzen Welt wurden alleine mit einem Cochlea-Implantat der Firma Nucleus versorgt [Cochlear GmbH, Stand 02/2004].

In Würzburg wurden seit der Implantation des ersten CIs 1991 bis heute 449 Ohren implantiert (Stand 03/2003), darunter befanden sich zum Großteil Kinder bzw. Säuglinge, bei denen die hier untersuchten Sprachverständlichkeitstests keine Anwendung fanden.

In der vorliegenden Arbeit galt es, die Sprachverständlichkeit der CI-Patienten anhand verschiedener Tests darzustellen und die verschiedenen Einflussparameter auf die Entwicklung der Sprachverständlichkeit herauszuarbeiten.

### **5.1 Fehlermöglichkeiten**

#### **5.1.1 Einfluss des Untersuchers**

Die ersten Patienten, die ein COMBI 40 erhielten, wurden über mehr als 10 Jahre hinweg untersucht. Während dieses langen Untersuchungszeitraums blieben zwar die äußeren Bedingungen bei der Durchführung der Tests konstant, trotzdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass der mehrfache Wechsel der Untersucher ohne Einfluss auf die Ergebnisse geblieben ist, wenngleich der Effekt als gering angesehen werden muss.

### **5.1.2 Einfluss des verwendeten Sprachprozessors**

Patienten, die über einen langen Zeitraum hinweg untersucht wurden, haben unterschiedliche Sprachprozessoren benutzt. 1994 wurde das COMBI 40 System in den Markt eingeführt, es folgte der CIS PRO+, und seit 1998 gibt es den TEMPO+ [Anderson et al., 2002], der jetzt beinahe ausnahmslos von allen Patienten benutzt wird. 2001 wurden in einer Studie von Helms et al. 46 Probanden untersucht, die den älteren Taschenprozessor CIS PRO+ gegen den neuen HdO-Sprachprozessor TEMPO+ eingewechselt hatten. Nach einer Eingewöhnungsphase von vier Wochen wurden die Probanden zu ihren Erfahrungen mit dem neuen Prozessor befragt. Ein Großteil der CI-Patienten bewertete die Sprachqualität mit dem neuen HdO-Prozessor besser als mit dem alten Taschenprozessor. Ein Vergleich auf der Grundlage der Freiburger Einsilber vor und nach Prozessorumstellung zeigte eine signifikant höhere Sprachverständlichkeit mit dem neuen TEMPO+. Vergleichbare Ergebnisse wurden in einer Studie von Anderson et al. [2002] veröffentlicht.

Nach Helms et al. [2001] liegt das bessere Sprachverständnis mit dem TEMPO+ im Mittel bei 5 %. Ein Zugewinn von 5 % ist zwar für die einzelnen Patienten ein äußerst wünschenswertes Ergebnis, zwingt aber hinsichtlich der großen Variabilität der Daten nicht unbedingt zur Aufteilung in unterschiedliche Gruppen, da dies mit dem Verlust an Freiheitsgraden erkauft werden müsste.

### **5.1.3 Einfluss des Patientenalters**

Die Indikationen zur Cochlea-Implantation wurden in den vergangenen Jahren immer wieder erweitert. Auch sehr alte Patienten, Patienten mit Mittelohrerkrankungen und Patienten mit zusätzlichen Behinderungen (z.B. Erblindung) wurden implantiert [Wu et al., 2000]. Inwiefern vor allem das Alter der CI-Kandidaten einen Einfluss auf die postoperative Sprachverständlichkeit hat, wurde in verschiedenen Studien untersucht [Nakajima et al., 2000; Wu et al., 2000]. Beide Untersuchungen konnten keine signifikanten Unterschiede in der Sprach-

verständlichkeit zwischen den verschiedenen alten Kollektiven feststellen. Bei Nakajima et al. [2000] schnitt das ältere Kollektiv einzig bei der Satzverständlichkeit mit schnellerer Geschwindigkeit oder im Rauschen (SNR 6 dB) signifikant schlechter ab. Zu Wu et al. [2000] muss angemerkt werden, dass die Ertaubungsdauer des älteren Kollektivs signifikant kürzer war. Inwieweit die Ertaubungsdauer Einfluss auf die Sprachverständlichkeit nimmt, wird später noch erläutert.

Auch andere Studien konnten keinen signifikanten Einfluss des Implantationsalters auf die postoperativen Ergebnisse finden [Chouard et al., 1984; Lehnhardt, 1989; Parkin et al., 1989]. Einige Autoren bestätigen, dass ältere Patienten von einem Cochlea-Implantat in gleicher Weise profitieren wie jüngere [Horn et al., 1991; Kelsall et al., 1995; Ouayoun et al., 1998; Rehse, 2001]. Nur Blamey et al. [1996] konnte einen negativen Einfluss des Alters auf die Ergebnisse nach Implantation verzeichnen.

Mit Ausnahme von Blamey et al. [1996] herrscht Übereinstimmung, dass auch ältere Patienten für ein Cochlea-Implantat geeignet sind und vergleichbare Resultate erzielen. Aus diesem Grund wurden die erwachsenen Patienten auch in der vorliegenden Arbeit nicht in unterschiedliche Altersgruppen unterteilt.

## **5.2 Sprachverständlichkeitstests**

Im Abschnitt Ergebnisse (siehe Kapitel 3.1.) war zu sehen, dass an die Daten lineare Modellfunktionen bei logarithmisch geteilter Achse angepasst wurden. Wie die Abbildungen zeigten, liegen die Messpunkte in der überwiegenden Anzahl nicht weiter von der Modellgeraden entfernt, als man dies auf Grund der eingezeichneten Vertrauensintervalle erwarten würde. Das heißt, die Daten widersprechen innerhalb des untersuchten Zeitraums nicht dem zugrundegelegten Modell. Daraus darf man aber keinesfalls schließen, dass sie auch dessen Richtigkeit beweisen würden. Es könnte nämlich sein, dass die erreichte Genauigkeit nicht ausreichte, um vorhandene Abweichungen sichtbar zu machen.

Aus dem Modell folgt, dass mit zunehmender Tragedauer der Gewinn immer kleiner wird. Bei langen Tragedauern werden die Zugewinne sehr klein. Es bedarf dann sehr großer Stichproben, wenn unterschieden werden soll, ob ein Modell, bei dem das Sprachverständnis mit der Zeit einen Sättigungswert annimmt, besser ist als das hier benutzte. Andererseits ist leicht einzusehen, dass man auf gar keinen Fall über den derzeit benutzten Zeitbereich hinaus weit in die Zukunft extrapolieren darf. Eine lineare Funktion wächst mit wachsendem Argument über alle Grenzen. Die möglichen Werte für die Sprachverständlichkeit sind aber in beiden Richtungen begrenzt. Man kann nicht weniger als kein Wort und nicht mehr als alle Wörter, also 100 %, verstehen. Für noch länger andauernde Untersuchungen ist das Modell daher auf jeden Fall zu modifizieren, und zwar in der Art, dass die vorhergesagte Verständlichkeit asymptotisch einem festen Grenzwert zustrebt. Die zur Zeit vorliegenden Daten liefern aber nicht genügend Informationen für eine solches Modell, so dass die Frage nach dem Langzeitverhalten offen bleiben muss. Für den dargestellten Zeitraum gibt es jedoch keinen durch die Daten erzwungenen Grund, das Modell abzulehnen. Als lineares Modell hat es den Vorteil, dass es mathematisch einfach zu handhaben ist. Außerdem stellte Excel für die numerischen Berechnungen alle notwendigen Prozeduren zur Verfügung.

Von wenigen Ausnahmen abgesehen, lässt sich bei fast allen Patienten feststellen, dass sie mit zunehmendem Gebrauch des CIs besser verstehen. Im untersuchten Zeitraum ist dieser Zuwachs der Sprachverständlichkeit mit der Zeit im Kollektiv hoch signifikant.

Ein positiver Effekt der Implantationsdauer im Hinblick auf die Leistung der CI-Patienten wurde auch schon 1996 von Blamey et al. beschrieben.

Wiebe [2001] hielt in einer Studie ähnliche Ergebnisse fest. Nach einem kontinuierlichen Leistungszuwachs in den ersten beiden Jahren nach CI-Implantation war in den darauffolgenden Untersuchungen eine Stagnation mit konstant guten Testergebnissen zu verzeichnen. Sie folgerte daraus, dass ein einmal erreichtes Sprachverständnis konstant beibehalten werden kann.

Eine Studie in Wien ergab dagegen eine ständig ansteigende Verbesserung der Sprachverständlichkeit der C40+-Benutzer in den ersten drei Jahren nach Implantation [Gstoettner et al., 2000].

Schon aus der täglichen Routine gewinnt man den Eindruck, dass die Testitems in den einzelnen Sprachtests unterschiedlich schwer zu verstehen sind. So ist der Freiburger Zahlentest bei 80 dB SPL am einfachsten zu bewältigen, während der Freiburger Einsilbertest am schwierigsten erscheint. Jedoch konnte an den hier vorliegenden Ergebnissen gezeigt werden, dass im Mittel in allen Tests die gleichen Fortschritte erzielt wurden. Die Steigungen der Geraden sind für alle vier untersuchten Sprachverständlichkeitstests nicht signifikant verschieden ( $p = 0,59$ ). Ein Patient lernt also in der Zeit nach Erstanpassung in allen Tests im gleichen Maß dazu. Abhängig vom Schwierigkeitsgrad unterscheidet sich der absolute Wert der Sprachverständlichkeit um eine Konstante.

Bei der Korrelation der Sprachverständlichkeiten in den verschiedenen Tests wurden bewusst die Ergebnisse der Freiburger Zahlen bei 80 dB SPL nicht mit einbezogen. Da es sich um den leichtesten Test handelt, werden schon kurz nach Erstanpassung sehr hohe Werte für die Sprachverständlichkeit erreicht, die sich in einem Deckeneffekt bemerkbar machen.

Die Regressionen zwischen den einzelnen Sprachtests lassen einen quantitativen Vergleich der drei untersuchten Tests zu. Die Ergebnisse im Freiburger Einsilbertest und im Freiburger Zahlentest bei 60 dB SPL zeigten eine leichtere Verständlichkeit der Zahlen trotz der geringeren Lautstärke. Die gleiche Beobachtung ließ sich auch für die Ergebnisse im HSM-Satztest und dem Freiburger Zahlentest bei 60 dB SPL machen. Die Zahlen wurden auch hier besser verstanden. Aus den Regressionsgeraden liest man ab, dass zu einer Sprachverständlichkeit von 50 % im Freiburger Zahlentest bei 60 dB SPL eine Sprachverständlichkeit von 28 % im HSM-Satztest und 23 % im Freiburger Einsilbertest gehörten. Trotz der vorhandenen Differenz ist eine hohe Korrelation zwischen dem HSM-Satztest und dem Freiburger Einsilbertest zu erkennen. Im direkten Vergleich bestätigte die Statistik, dass von allen untersuchten Sprachtests der

HSM-Satztest und der Freiburger Einsilbertest die engste Korrelation aufweisen.

Der Freiburger Einsilbertest gilt als ein Standardtest in der Audiometrie. Aufgrund der hohen Korrelation mit dem HSM-Satztest könnten sich in Zukunft Mehrfachtests möglicherweise erübrigen. Unter den Audiologen herrscht die Meinung vor, dass die Sprachaudiometrie mit Sätzen der Wirklichkeit näher kommt als diejenige mit Zahlen oder Wörtern [Lehnhardt, 1996].

Die Verteilung der Ergebnisse im Freiburger Einsilbertest zeigte, dass mehr als die Hälfte der Patienten ein Jahr nach Erstanpassung mindestens 50 % der Freiburger Einsilber verstehen. Diese Aussage gewinnt an Bedeutung, wenn man weiß, dass ein Einsilber-Sprachverständnis von mehr als 50 % in der Regel für das Telefonieren mit fremden Personen ausreicht [Helms et Müller, 1999]. Die Tatsache, dass so alltägliche Dinge wie Telefonieren auch für Hörbehinderte wieder möglich werden, stellt einen großen Fortschritt dar.

### **5.3 Einflussparameter**

Wie das Kapitel Indikationen zur Cochlea-Implantation zeigte, musste ein Patient gewisse Bedingungen erfüllen, um für eine Implantation geeignet zu sein. Bringt ein Kandidat alle notwendigen Voraussetzungen mit, geht man davon aus, dass er von einem Implantat profitieren kann. Wie sehr dies der Fall sein wird, kann nur sehr schwer vorhergesagt werden. Dabei liegt es nahe, dass alle Beteiligten ein hohes Interesse daran haben, genau das zu können. Einige Faktoren, die möglicherweise die postoperativ erzielbare Sprachverständlichkeit beeinflussen, wurden schon diskutiert. Aber es spielen viele weitere Faktoren eine Rolle, die im Vorfeld oft schlecht überschaut werden können.

Inwiefern mit Hilfe der Ertaubungsdauer, den Ergebnissen im Promontorialtest und der Gabe von Cortison ein Vorhersagewert für die postoperative Sprachverständlichkeit getroffen werden kann, wird in den folgenden Abschnitten diskutiert.

### **5.3.1 Einfluss der Ertaubungsdauer**

Der Zusammenhang zwischen der Ertaubungsdauer und der Sprachverständlichkeit wurde in der Literatur ausführlich diskutiert [Blamey et al., 1996; Chouard et al., 1984; Geier et al., 1999; George et al., 1994; Rubinstein et al., 1999; Wiebe, 2001]. Chouard et al. [1984] sahen keinen Zusammenhang zwischen der Ertaubungsdauer und den Resultaten nach CI Implantation. Anders Blamey et al. [1996] sowie Geier et al. [1999], die signifikante Unterschiede beschrieben. Patienten mit kurzer Ertaubungsdauer erzielten in beiden Untersuchungen bessere Ergebnisse als Langzeittaube.

Auch in einer Studie von Rubinstein et al. [1999] erreichten postlingual ertaubte Patienten mit kurzer Ertaubungsdauer postoperativ eine höhere Sprachverständlichkeit als länger ertaubte. Bei Patienten mit längerer Ertaubungsdauer sind wahrscheinlich nur noch wenige innere Haarzellen funktionsfähig, so dass es wegen der unzureichenden Stimulation auch zur Degeneration des Spiralganglions kommt [Rubinstein et al., 1999].

Auch die vorliegende Studie bestätigte einen signifikanten Einfluss der Ertaubungsdauer auf die Sprachverständlichkeit. Das heißt, Patienten mit kurzer Ertaubungsdauer erzielten bessere Ergebnisse in den Sprachtests als länger ertaubte. Doch es bleibt unverkennbar, dass die Werte stark um die angepasste Gerade streuen, so dass im Einzelfall keine Prognose bezüglich der postoperativen Sprachverständlichkeit abgegeben werden kann. Außer Frage steht jedoch, dass auch Patienten mit langer Taubheit von einem Cochlea-Implantat profitieren können.

### **5.3.2 Einfluss der im Promontorialtest beobachteten Eigenschaften**

Keiner der im Promontorialtest bestimmten Einflussgrößen korrelierte signifikant mit den Ergebnissen im Freiburger Einsilbertest. Die Parameter des Promontorialtests wurden auch mit den Ergebnissen im Freiburger Zahlentest bei 60 und

80 dB, sowie im HSM-Satztest korreliert. Auch hier konnten keine signifikanten Zusammenhänge gefunden werden. Diese Ergebnisse wurden nicht dargestellt. Dennoch erfüllte der Promontorialtest seinen eigentlichen Zweck. Alle Patienten, die den Promontorialtest erfolgreich ablegten, hatten nach der Implantation des CIs Höreindrücke und konnten postoperativ getestet werden. Aus den vorliegenden Daten schätzt man die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem erfolgreichen Promontorialtest tatsächlich ein funktionsfähiger Hörnerv vorliegt, zwischen 99,9 % und 100 % (95 %-Vertrauensbereich).

In einer Studie von Allen et al. [1993] wurden 14 CI-Patienten untersucht, die präoperativ TDL-Werte zwischen 10 und 250 ms lieferten. Patienten, die TDL-Werte unter 50 ms erkannten, erreichten postoperativ eine höhere Sprachverständlichkeit als Patienten mit höheren TDL-Werten. Jedoch weisen Allen et al. auch darauf hin, dass hohe präoperative TDL-Werte nicht zwingend nach der Implantation zu einer niedrigen Sprachverständlichkeit führen.

### **5.3.3 Einfluss des Cortisons**

Das Patientenkollektiv, das Cortison erhalten hatte, zeigte in allen 4 Sprachverständlichkeitstest eine Tendenz zu besseren Resultaten. Allerdings wurde dieser positive Trend für keinen der vier Tests signifikant.

Dennoch sollte man diesen Zusammenhang weiter beobachten, da der Unterschied, wenn in Zukunft eine größere Datenmenge vorliegt, durchaus signifikant werden könnte.

Zarowski et al. [2000] untersuchten den Einfluss des Cortisons nicht auf die Sprachverständlichkeit, sondern auf die postoperativ gemessenen Impedanzen. Die Studie zeigte, dass durch die intraoperative Injektion von Steroiden die postoperativen Impedanzen gesenkt werden konnten. Niedrige und stabile Impedanzen werden als entscheidend für eine effektive elektrische Stimulation angesehen [Peeters et al., 1998]. Inwiefern die Gabe von Cortison bei dem hier untersuchten Patientenkollektiv eine Veränderung der Impedanzen zur Folge hatte, wurde nicht untersucht.

## 6 Zusammenfassung

An der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke der Universität Würzburg werden seit 1991 taube oder hochgradig schwerhörige Patienten mit einem Cochlea-Implantat versorgt. Ein Cochlea-Implantat (CI) ist ein elektronisches System, das die ausgefallene Funktion des Innenohres ersetzt, den Hörnerv direkt stimuliert und so einen Höreindruck vermittelt. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde an einem Kollektiv von 148 erwachsenen Patienten, die mit einem CI der Firma MED-EL versorgt worden waren, die zeitliche Entwicklung der Sprachverständlichkeit anhand verschiedener Sprachtests sowie der Einfluss verschiedener Faktoren auf das Ausmaß des auditiven Erfolges untersucht.

Die Patienten konnten ihre Ergebnisse in allen untersuchten Sprachtests im Laufe der Zeit steigern, das heißt sie verstanden mit zunehmender Tragedauer immer besser. Die statistische Analyse zeigte einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Anstieg der Sprachverständlichkeit und der Zeit nach Erstanpassung des CIs. Es konnte gezeigt werden, dass der Anstieg der Sprachverständlichkeit über der Zeit in allen Tests identisch war. Die Probanden haben also in jedem Test gleichermaßen Fortschritte gemacht. Dabei war wiederum allen Tests gemeinsam, dass die CI-Träger am Anfang schneller lernten und mit zunehmender Nutzungsdauer immer kleinere Fortschritte machten.

Die Korrelation der Ergebnisse in den unterschiedlichen Sprachverständlichkeitstests ergab, dass die Ergebnisse in allen Tests signifikant miteinander korrelierten. Die engste Korrelation wurde beim Freiburger Einsilbertest und dem HSM-Satztest gefunden. Dieser Zusammenhang könnte dazu führen, dass sich Mehrfachtests in Zukunft möglicherweise erübrigen.

Eine Untersuchung der Verteilung der Ergebnisse im Freiburger Einsilbertest zeigte, dass mehr als die Hälfte der untersuchten Patienten ein Jahr nach Erstanpassung mindestens 50 % der Freiburger Einsilber verstanden. Eine Verständlichkeit, die ausreicht, um mit fremden Personen telefonieren zu können.

Verschiedene Studien haben sich in den letzten Jahren damit beschäftigt, prognostische Faktoren für die postoperative Sprachverständlichkeit herauszustellen [Battmer et al., 1995; Blamey et al., 1996; Gupta, 1992; Wiebe, 2001].

In der hier vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob die Ertaubungsdauer, die Ergebnisse des Promontorialtests, wie auch die Gabe von Cortison die postoperative Sprachverständlichkeit beeinflussten.

Es konnte gezeigt werden, dass die Ertaubungsdauer einen signifikanten Einfluss auf die postoperativen Sprachergebnisse hatte. Jedoch bleibt es schwierig, für den Einzelfall eine Prognose abzugeben, da die Werte von Patient zu Patient stark streuen.

Kein signifikanter Zusammenhang konnte zwischen den Werten im Promontorialtest und der postoperativen Sprachverständlichkeit gefunden werden. Jedoch erfüllte ein erfolgreich durchgeführter Promontorialtest seinen Zweck, nämlich zu prüfen, ob der Hörnerv funktionsfähig war.

Zwischen der Gabe von Cortison und der postoperativen Sprachverständlichkeit konnte kein signifikanter Zusammenhang gefunden werden. Die zurzeit vorliegenden Daten ließen lediglich für Patienten, die das Cortison erhalten hatten, einen positiven Trend erkennen.

## 7 Literaturverzeichnis

Allen AA, Singh RS, Sood RK, Sik MJ (1993): Experience with promontory stimulation. In: Hochmair-Desoyer IJ, Hochmair ES: Advances in Cochlear Implants. Manz, Wien 1994: pp 93-96

Anderson I, Weichbold V, D`Haese P (2002): Recent results with the MED-EL COMBI 40+ cochlear implant and TEMPO+ behind-the-ear processor. Ear Nose Throat J, 81 (4): pp 229-233

Banfai P: Das Cochlear Implant der Köln-Dürener Forschungsgruppe. Julius Groos Verlag, Heidelberg 1985: S. 74-92

Battmer RD, Lehnhardt E, Laszig R (1986): Promontoriumstest und Elektrocochleographie im Hinblick auf die Indikation zum Cochlear Implant. HNO 34(4): S. 139-142

Battmer RD, Gupta SP, Allum-Mecklenburg DJ, Lenarz T (1995): Factors influencing cochlear implant perceptual performance in 132 adults. Ann Otol Rhinol Laryngol, 104(9), Suppl 166, Part 2: pp 185-187

Blamey P, Arndt P, Bergeron F, Bredberg G, Brimacombe J, Facer G, Larky J, Lindström B, Nedzelski J, Peterson A, Shipp D, Staller S, Whitford L (1996): Factors affecting auditory performance of postlingually deaf adults using cochlear implants. Audiol Neurootol, 1(5): pp 293-306

Cochlear GmbH: Daten der registrierten implantierten Personen weltweit: über 40000, Stand 02/2004, [www.cochlear.de](http://www.cochlear.de)

Chouard CH, Fugain C, Meyer B, Gegu D (1984): Prognostic evaluation of the multichannel cochlear implant, Acta Otolaryngol (Stockh), Suppl 411: pp 161-164

Djourno A (1957): La „Méthode des induits“ et ses applications. Presse Méd, 65: 1353-1354

Djourno A, Eyries C (1957): Prothèse auditive par excitation électrique à distance du nerf sensoriel à l'aide d'un bobinage inclus à demeure. Presse Méd, 65: 1417-1423

Fellbaum K: Sprachverarbeitung und Sprachübertragung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1984: S. 84-105

Geier L, Barker M, Fischer L, Opie J (1999): The effect of long-term deafness on speech recognition in postlingually deafened adult CLARION® cochlear implant users. Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl, 177(4): pp 80-83

George C, Sheridan C, Cafarelli Dees D, Haacke NP, Worsfold S, Downie A (1993): Effect of duration of deafness (<2yrs v. >10 yrs) on performance and preferred stimulation mode with Nucleus 22-channel cochlear implant. In: Hochmair-Desoyer IJ, Hochmair ES: Advances in Cochlear Implants. Manz, Wien 1994: pp 384-386

Gupta SP: Untersuchung des quantitativen auditiven Erfolgs und dessen Einflussparameter bei Patienten mit einem Cochlearimplantat. Hannover, Med. Hochsch., Diss., 1992

Gstoettner W, Adunka O, Hamzavi J, Lautischer M, Baumgartner WD (2000): Speech discrimination in post-lingually deaf patients with cochlear implants. Wien Klin Wochenschr, 112(11): pp 487-491

Harris JP, Anderson JP, Novak R (1995): An outcomes study of cochlear implants in deaf patients. Audiologic, economic and quality-of-life changes. Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 121(4): pp 398-404

Hellbrück J: Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie. 1. Auflage, Hogrefe, Verlag für Psychologie, Göttingen 1993: S. 62-65

Helms J, Müller J (1999): Die Auswahl eines Cochlea-Implants und die Ergebnisse der Implantation. *Laryngol Rhinol Otol* (Stuttg), 78(1): S. 12-13

Helms J, Müller J, Schön F, Moser L et al. (1997): Evaluation of performance with the COMBI 40 cochlear implant in adults: a multicentric clinical study. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 69(1): pp 23-35

Helms J, Müller J, Schön F, Winkler F, Moser L, Shehata-Dieler W et al. (2001): Comparison of the TEMPO+ ear level speech processor and the CIS PRO+ body-worn processor in adult MED-EL cochlear implant users. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 63(1): pp 31-40

Hirsch EB, Kamerer DB (1986): Experience in cochlear implantation. *Ear Nose Throat J*, 65(12): pp 549-553

Hochmair-Desoyer IJ, 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*, 18(6 Suppl): p 83

Horn KL, McMahon NB, McMahon DC, Lewis JS, Barker M, Gherini S (1991): Functional use of the Nucleus<sup>®</sup> 22-channel cochlear implant in the elderly. *Laryngoscope*, 101(3): pp 284-288

Kelsall DC, Shallop JK, Burnelli T (1995): Cochlear implants in the elderly. *Am J Otol*, 16(5): pp 609-615

Klenzner T, Stecker M, Marangos N, Laszig R (1999): Zur Indikationserweiterung des „cochlear-implant“ – Freiburger Ergebnisse bei Patienten mit Resthörigkeit. *HNO*, 47(2): S. 95-100

Knaus C, Müller J; Schön F (2000): A novel outer ear canal electrode for noninvasive electrical stimulation of the cochlear nerve in preoperative evaluation for cochlear implants in adults and children. *Adv Otorhinolaryngol*, Basel, Karger, 57: pp 152-156

Laszig R, Klenzner T (1997): Cochlear Implant bei Resthörigkeit. *HNO*, 45(10): S. 740- 741

Lehnhardt E: *Praxis der Audiometrie*. 7. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 1996: S. 175-176

Lehnhardt E: Entwicklung des Cochlea-Implantats und das Cochlea-Implantat-Projekt in Hannover. In: Lenarz T: *Cochlea-Implantat – Ein praktischer Leitfaden für die Versorgung von Kindern und Erwachsenen*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1998: S. 1-8

Lehnhardt E, Battmer RD, Nakahodo K, Laszig R (1986): Cochlear Implants. *HNO*, 34(7): S. 271-279

Lenarz T: *Cochlea-Implantat – Ein praktischer Leitfaden für die Versorgung von Kindern und Erwachsenen*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1998: a: S. 9-15, b: S. 122-135

Maddox HE, Porter TH (1983): Who is a candidate for Cochlear Implantation? *Otolaryngol Clin North Am*, 16(1): pp 249-255

Marangos N, Laszig R (1998): Cochlear Implants – Die prothetische Versorgung bei Taubheit um die Jahrtausendwende. *HNO*, 46(1): S. 12-26

MED-EL Info-Heft COMBI 40+: Das MED-EL Hochleistungs-Cochlea-Implantat. September 2000: S. 12-21

Müller J, Schön F (1994): Lautheitsskalierung bei Cochlear-Implant Patienten im Rahmen der präoperativen Austestung. *Laryngorhinootologie*, 73(3): S. 128-131

Müller J, Schön F, Helms J (2000): Bilateral cochlear implant – new aspects for the future? *Adv Otorhinolaryngol*, Basel, Karger, 57: pp 22-27

Müller-Deile J, Rudert H, Brademann G, Frese K (1998): Cochlear-Implant-Ver-sorgung bei nicht tauben Patienten? *Laryngol Rhinol Otol* (Stuttg), 77(3): S. 136-143

Moser LM (1987): Das Würzburger Hörfeld – ein Test für prothetische Audio-metrie. *HNO*, 35(8): S. 318-321

Nakajima S, Iwaki S, Fujisawa N, Yamaguchi S, Kawano M, Fujiki N, Naito Y, Honjo I (2000): Speech discrimination in elderly cochlear implant users. *Adv Otorhinolaryngol*, Basel, Karger, 57: pp 368-369

Ouayoun M, Merite-Drancy A, Monneron L, Fugain C, Chouard CH, Meyer B (1998): Cochlear implants in the elderly. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac*, 115(3): pp 135-139

Papadopoulos B: Retrospektive Untersuchung zu Ergebnissen nach Cochlea-Implantat-Revisions-Operationen. Würzburg, Diss., 2003

Peeters S, Van Immerseel L, Zarowski A, Houben V, Govaerts P, Offeciers EF (1998): New developments in cochlear implants. *Acta Otorhinolaryngol Belg*, 52(2): pp 115-127

Rehse S: Ergebnisse der audiologischen Rehabilitation des alten Menschen durch Cochlea Implant. Hannover, Med. Hochsch., Diss., 2001

Rubinstein JT, Parkinson WS, Tyler RS, Gantz BJ (1999): Residual speech recognition and cochlear implant performance: Effects of implantation criteria. *Am J Otol*, 20(4): pp 445-452

Ruh S, Battmer RD, Strauß-Schier A, Lenarz T (1997): Cochlear Implant bei resthörigen Patienten. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)*, 76(6): S. 347-350

Scholtz LU, Müller J, Schön F, Moser LM, Helms J (2000): Fast stimulator cochlear implants in patients with residual hearing. *Adv Otorhinolaryngol*, Basel, Karger, 57: pp 401-404

Silbernagl S, Despopoulos A: Taschenatlas der Physiologie. 4. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 1991: S. 318-323

Steinert R: Versuch eines Eignungsindex zur Beurteilung der Lernfähigkeit vor Cochlea Implant. In: Lehnhardt E und Hirshorn MS: Cochlear Implant. Springer-Verlag, 1986: S. 50-54

Werra P v, Tschopp K, Schneider R (1995): Einfluß der linguistischen Kompetenz auf die sprachaudiometrischen Ergebnisse mit dem Baseler Satztest. *HNO*, 43: S. 98-103

Wever EG, Bray CW (1936): The nature of bone conduction as shown in the electrical response of the cochlea. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 45: p 822

Wiebe C: Vergleich zweier Testmethoden zur Sprachtestung bei erwachsenen Cochlear Implant Patienten. Hannover, Med. Hochsch., Diss., 2001

Wu H, Mosnier I, Dahan EA, Viala P, Bouccara D, Sterkers O (2000): Results of cochlear implant in postlinguistically deaf adults. *Adv Otorhinolaryngol*, Basel, Karger, 57: pp 382-384

Zarowski A, De Ceulaer C, Peeters S, Govaerts P, Somers T, Offeciers FE (2000): Conference proceedings 5th European symposium on paediatric cochlear implantation nr 028, 4-7/06/2000, Antwerpen

Zierhofer CM, Hochmair IJ, Hochmair ES (1997): The advanced COMBI 40+ cochlear implant. Am J Otol, 18(6 Suppl): pp 537-538

## Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. med. J. Helms für die Überlassung des Themas, die Durchsicht der Arbeit und die Übernahme des Referates.

Herrn Priv.-Doz. Dr. Dr. J. Bill danke ich für die Übernahme des Koreferates.

Weiterhin danken möchte ich Herrn Priv.-Doz. Dr. med. J. Müller für die freundliche Unterstützung und Beratung bei der Erstellung und Durchführung der Arbeit.

Herrn Dipl. Ing. St. Brill danke ich für die Durchsicht der Arbeit.

Für die statistische Betreuung und Korrektur der Arbeit danke ich Herrn Dr. rer. nat. F. Schön. Ihm gilt mein besonderer Dank für seine umfangreiche Anleitung, wie auch konstruktiven Ratschläge, die erheblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Ferner danke ich allen Mitarbeitern der CI-Abteilung der Poliklinik und Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten der Universität Würzburg, im besonderen Frau Haase, Herrn Möltner und Herrn Ressel für die großzügige Hilfe und das stets freundliche Arbeitsklima.

Nicht zuletzt danke ich meiner Familie für die stetige und ausdauernde Unterstützung. Ohne ihre Geduld und allgegenwärtige Hilfe wäre mir dies alles nicht möglich gewesen.