

Die Vorlage dieser Studienbeschreibung wurde als Poster präsentiert bei der „Conference on Implantable Auditory Protheses“, 2007, Granlibakken, Lake Tahoe, California



Untersuchungen zum Eingangsdynamikbereich

(kommentierte Übersetzung mit Erklärungen, Andreas Gaedt, Advanced. Bionics)

Originaltitel: Input Dynamic Range Testing

Yassaman Khajehnouri*, Thomas Lenarz, Andreas Büchner

Medizinische Hochschule Hannover, Deutschland, *Advanced Bionics GmbH, Deutschland

Hintergrund der Studie

Um das Hörvermögen von Cochlea Implantat Trägern zu bewerten, werden Sprachtests verwendet. Dies sind z.B. Zahlen-, Einsilber-, oder Satztests, die in Ruhe oder im Störgeräusch durchgeführt werden können. Üblicherweise wird die Sprache in diesen Tests auf einem konstanten Lautstärkepegel präsentiert. Zusätzlich ist es den zu testenden Personen erlaubt, ihren Prozessor auf die Testsituation optimal einzustellen, d.h. z.B. die Mikrofonempfindlichkeit zu regeln oder das ‚Whisper Setting‘¹ zu nutzen. Auf diese Weise werden in den Sprachtests oft gute Ergebnisse erzielt; mit dem Hören in üblicherweise anspruchsvolleren Alltagssituationen hat dies aber wenig gemeinsam.

Zudem gibt es technische Faktoren bei den CI-Systemen, deren Einfluss das Verstehen in eben jenen Alltagssituationen verbessern sollen, die in den beschriebenen Testbedingungen jedoch unbewertet bleiben. Vorrangig sind hier der Eingangsdynamikbereich ‚IDR‘ (Input Dynamic Range), und die Automatische Verstärkungskontrolle ‚AGC‘ (Automatic Gain Control) gemeint. Der IDR beschreibt den erfassbaren Lautstärkebereich. Die AGC² ist eine Komponente der Signalverarbeitung, die die eingehenden akustischen Signale auf den elektrischen Stimulationsbereich anpasst. Dazu werden Signale ab einer bestimmten Lautstärke komprimiert, d.h. die Lautstärke relativ zu leiseren Signalen reduziert.

In dieser Studie sollen unterschiedliche CI-Systeme unter anspruchsvolleren Testbedingungen, die eher dem ständigen Wechsel der Hörbedingungen in Alltagssituationen entsprechen, gegenübergestellt werden. Es ist zu erwarten, dass unter den hier verwendeten Testbedingungen - ein Satztest im Störgeräusch mit wechselnden Präsentationspegeln - der mögliche Einfluss der technischen Eigenschaften auf das Sprachverstehen, besser herausgestellt werden kann.

In einem für diese Studie neu entwickelten Sprachtest werden insgesamt 30 Sätze (aus dem HSM-Satztest) mit wechselnden Lautstärken präsentiert. Die unterschiedlichen Pegel variieren nach Zufallsprinzip um einen nominellen Präsentationspegel von 65dB SPL³.

Bei den zwei Varianten dieses Sprachtests in dieser Studie, wird der Lautstärkepegel zum einen um a) +/- 10dB und zum anderen um b) +/- 15dB variiert, so dass sich für die Variante a) Lautstärkepegel von 55, **65** und 75dB und für die Variante b) 50, **65** und 80dB ergeben.

¹ Funktion des 3G (Fa. Cochlear) zur Erweiterung des IDR zur Erfassung leiser Geräusche

² nähere Erläuterung zur AGC in ‚Regelung des Eingang-Dynamik-Bereiches‘ unter www.bionicear.eu oder direkt unter:

www.bionicear-europe.com/UserFiles/File/DE/Studies/MHH_IDR-Study/AT_AGC-Erlaeuterung_CFB_DE_A.pdf

³ dB: Dezibel, Maßeinheit der Lautstärke

SPL: Speech Perception Level, Lautstärkebezugslevel für das menschliche Hören

Unter Veränderung der Intensität des Rauschens um den konstanten Sprachpegel wurde bei dieser Studie der Signal-Rausch-Abstand (SNR; Signal to Noise Ratio) gesucht, bei dem der Studienteilnehmer 50% des präsentierten Sprachmaterials versteht. Dieser für 50% Sprachverständnis ermittelte Abstand zwischen Sprach- und Rauschpegel wird als Sprachverständlichkeitslevel (SRT; Speech Reception Threshold) bezeichnet.

Die Ergebnisse dieses Tests wurden für drei Patientengruppen unterschiedlicher CI-Systeme mit unterschiedlichen Eingangsdynamikbereichen bestimmt. Um möglichst vergleichbare CI-Träger in den Gruppen gegenüberzustellen, wurden neben den Sprachtestergebnissen im Störgeräusch im klinischen Testverfahren, auch die demographischen Daten der Studienteilnehmer wie Alter, Ertaubungsdauer und Erfahrung mit ihrem CI, sorgfältig in die Auswahl mit einbezogen.

Wenn der Eingangsdynamikbereich (IDR), wie jüngst in einer Studie von Spahr und Dorman [2007] angenommen, ein entscheidender Einflussfaktor für das Alltagssprachverständnis ist, also dem Hören unter wechselnden Hörbedingungen, so sollte dieser neuartige Test mit wechselnden Präsentationspegeln Unterschiede aufzeigen.

Durchführung

Es wurden drei Gruppen mit jeweils zehn erfahrenen erwachsenen CI-Trägern untersucht. In zwei Gruppen trugen die Studienteilnehmer Systeme der Firma Cochlear: *Gruppe 1* verwendete den Freedom® HdO und *Gruppe 2* den Esprit 3G® HdO. Alle Träger der Cochlear-Systeme wurden mit der ACE® Sprachcodierungsstrategie angepasst. Die Studienteilnehmer der *Gruppe 3* verwendeten den Advanced Bionics Auria® HdO und nutzten die HiRes® Sprachcodierungsstrategie. Alle drei Patientengruppen wurden für diese Studie nicht gesondert, sondern wie gewöhnlich in der klinischen Routine angepasst.

Die Zusammenstellung der Gruppen erfolgte anhand der Ergebnisse des vor der Studie im alltäglichen klinischen Betrieb durchgeführten HSM Satztests mit unmoduliertem sprachsimulierenden Rauschen bei +10dB SNR [Hochmair et al, 1997] und bei sorgfältigem Abgleich der demografischen Daten wie Ertaubungsdauer, Implantationsalter und Erfahrung mit dem CI.

Die demografischen Daten und die klinischen Sprachtestergebnisse für jede der drei Gruppen werden in Tabelle 1 gezeigt.

System	Ertaubungsdauer [Jahre]	Implantationsalter [Jahre]	Nutzungsdauer des CI [Jahre]	Ergebnis im HSM (+10dB)
Freedom	1.2	56	2.6	69.8 %
Esprit3G	2.2	61	4.9	66.9 %
Auria	1.7	56	2.9	64.8 %

Tab.1: Demografische Daten und Ergebnisse im HSM-Satztest bei +10dB SNR für jede der drei Gruppen zeigen eine gute Übereinstimmung

Die Studienteilnehmer wurden in einem schallisolierten Raum getestet. Das Testmaterial wurde über einen Lautsprecher in 1m Entfernung und von vorn präsentiert. Vor jeder Messung wurde der Präsentationspegel auf 65dB SPL kalibriert. Jede Testliste des Sprachtests beinhaltete 30 mit männlicher Stimme gesprochene Sätze. Die Sätze stammen aus dem üblicherweise verwendeten HSM Testmaterial. Bei der Beurteilung der

Verständlichkeit wurde jedes einzelne vom Patienten richtig wiedergegebene Wort gewertet. Der Präsentationspegel jedes Satzes wurde in Test a) zwischen 0dB, +10 dB und -10dB und in Test b) zwischen 0dB, +15dB und -15dB variiert. Der nominelle, also mittlere Präsentationslevel, betrug 65dB SPL für beide Tests. Es wurden also Bereiche von 55dB bis 75dB SPL (Test a) bzw. 50dB bis 80dB SPL (Test b) betrachtet.

Für beide Test-Konditionen wurden zehn Sätze bei jedem der drei Präsentationspegel angeboten. Das sprachsimulierende Rauschen wurde ab 0,5s vor und bis 0,5s (s: Sekunden) nach Satzpräsentation eingespielt. Der Signal-Rausch-Abstand (SNR) orientierte sich am Präsentationspegel des angebotenen Sprachmaterials. Somit wurde der SNR entsprechend des Präsentationspegels des jeweiligen Satzes berechnet und der Rauschpegel entsprechend angepasst.

Gestartet wurde die jeweilige Testreihe mit einem Signal-Rausch-Abstand von +20dB. Machte ein Studienteilnehmer zwei oder weniger Fehler bei der Wiederholung des Satzes, wurde der SNR für den nächsten Satz reduziert und somit die Bedingungen erschwert, bei mehr als zwei Fehlern hingegen wurde der SNR vergrößert und somit die Bedingungen erleichtert. Der SNR wurde dabei nach einer 3-stufigen adaptiven Regel in Schritten von 10dB, 5dB und 2,5dB bestimmt. Auf diese Weise wurde der Sprachverständlichkeitspegel (SRT, Speech Reception Threshold) für den Signal-Rausch-Abstand bei 50% Satzverstehen bestimmt.

Vor der Durchführung der Testreihe wurde jedem Studienteilnehmer erlaubt, die Regler seines Prozessors während einer Übungsliste von 30 Sätzen optimal auf die Prüfsituation einzustellen. Auch ein Nachregeln während des Testdurchlaufs wurde erlaubt, war jedoch durch die sich ständig ändernden Präsentationspegel der einzelnen Sätze nur von geringem Nutzen. Für das Nachsprechen der während des Tests präsentierten Sätze wurde den Studienteilnehmern so viel Zeit wie individuell erforderlich zugestanden.

Der Test wurde automatisch parallel zur Testdurchführung ausgewertet. Hierzu gab der den Test begleitende Audiologe die Angaben des Studienteilnehmers direkt per Maus-Klick in die begleitende Testsoftware ein.

In Tabelle 2 sind unterschiedliche Eigenschaften der drei Systeme gegenübergestellt. Von besonderer Bedeutung ist hier der Vergleich der unterschiedlichen Eingangsdynamikbereiche. Der Auria verfügt mit 60dB über den größten Eingangsbereich. Der aktuelle Prozessor der Fa. Cochlear, der Freedom, hat mit 45dB einen deutlich kleineren IDR, kann aber gegenüber seinem Vorgänger, dem 3G (30dB), bereits einen größeren Wert vorweisen.

System	IDR in dB	AGC	Notes
Freedom	45	Schnelle Regelung, unendliche Kompression	IDR ist programmierbar
Esprit3G	30	Schnelle Regelung, unendliche Kompression	Whisper-Einstellung nutzbar
Auria	60	Zweistufige Regelung	IDR ist programmierbar

Tab. 2: Eigenschaften des Eingangsbereichs der untersuchten Cochlea Implantat Systeme

Ergebnisse

Bei den vor der Studie im klinischen Routinebetrieb ermittelten HSM Satztest-Ergebnissen bei +10dB SNR (Abb. 1) erzielten die Studienteilnehmer der drei Gruppen sehr ähnliche Resultate. Das durchschnittliche Verständnis der Freedom-Gruppe betrug 69,8%, das der 3G-Gruppe betrug 66,9% und das der Auria-Gruppe betrug 64,8%.

Um die Aussagekraft dieser Werte näher zu betrachten, wurde mit einer statistischen Berechnung die so genannte Signifikanz⁴ beurteilt. Der hierfür verwendete *Student t-Test* (zweiseitig) zeigte, dass sich die Mittelwerte der einzelnen Gruppen nicht signifikant ($p > 0.5$) unterschieden. Das bedeutet, dass die Abweichungen zwischen den drei Werten (69,8%, 66,9% und 64,8%) aufgrund der zugrunde liegenden Streuung der Einzelergebnisse zu vernachlässigen sind und als gleichwertig betrachtet werden können.

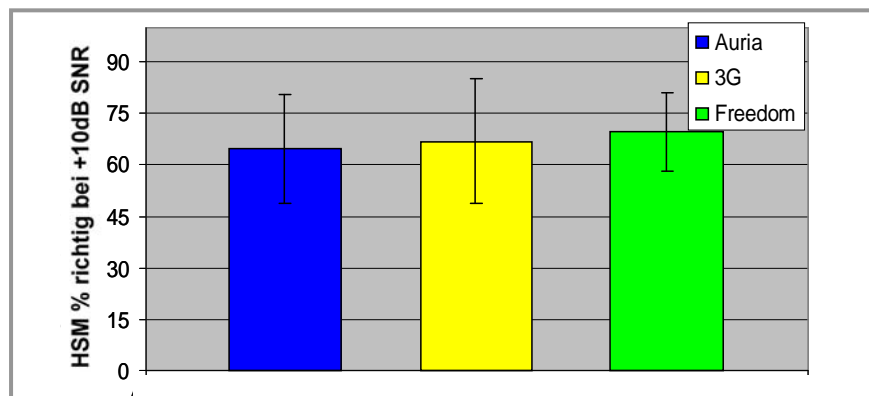


Abb. 1: Die durchschnittlichen Ergebnisse im HSM-Satztest für Auria-, 3G- und Freedom-Gruppe für +10dB SNR sind

Im Gegensatz zu den als Ausgangspunkt angeführten HSM Satztest Ergebnissen, führten die beiden während der Studie durchgeführten Tests mit wechselnden Präsentationspegeln zu unterschiedlichen Resultaten (Abb. 2) für die drei getesteten CI-Systeme. Die Studienteilnehmer der Auria-Gruppe waren hier deutlich besser.

Die in Abb. 2 dargestellten Ergebnisse wurden zur weiteren Bewertung ebenfalls auf ihre Signifikanz untersucht. Zum einen wurde hierfür eine „zweifaktorielle Varianzanalyse nach ANOVA“ durchgeführt, zum anderen wurde zur Berechnung eine „dreifaktorielle Analyse nach ANOVA, mixed model“ verwendet.

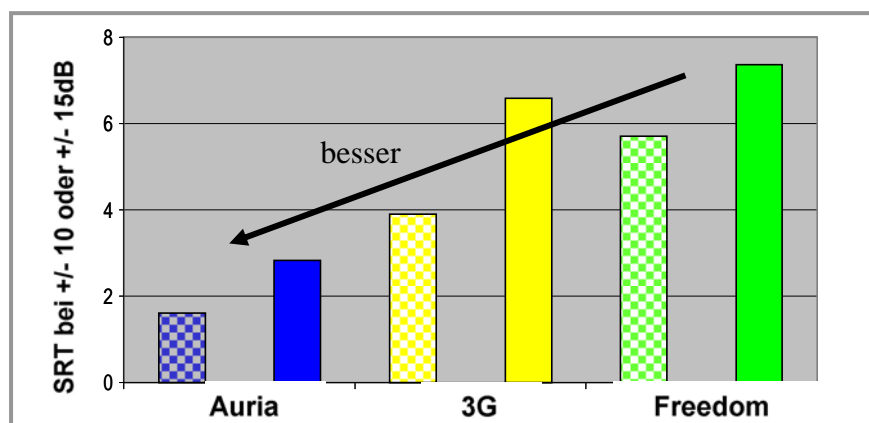


Abb. 2: SRT Mittelwerte bei variierenden Präsentationspegeln für +/- 10dB (li., kariert) und +/- 15dB (re.) jedes Implantattyps

⁴ Signifikanz gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass Gruppen einzelner Messwerte aus der gleichen Grundgesamtheit stammen, und damit in diesem Fall, ob Abweichung der Gruppen-Mittelwerte zufällig ist, oder auf systematische Unterschiede der Gruppen zurückzuführen ist.

Die „zweifaktorielle Varianzanalyse nach ANOVA“ zeigte, dass die besseren Ergebnisse der Auria Studienteilnehmer gegenüber der Freedom-Gruppe für beide Modifikationen, +/- 10dB ($t=2.62$ $p<0.025$) und +/- 15dB ($t=2.72$ $p<0.025$) einen signifikanten und somit statistisch aussagekräftigen Unterschied aufwiesen. Im Vergleich zur 3G-Gruppe erreichten die Studienteilnehmer der Auria-Gruppe ebenfalls bessere Ergebnisse, eine Signifikanz konnte in diesem Vergleich jedoch für beide Konditionen (+/- 10dB und +/- 15dB ($t=1,9$ $p<0,08$)) nicht nachgewiesen werden.

Bei weiterer Betrachtung der Ergebnisse durch die „dreifaktorielle Analyse nach ANOVA, mixed model“ konnte wiederum auch im Vergleich zum Esprit 3G für beide Modifikationen (+/- 10dB und +/- 15dB) ein signifikanter Vorteil ($p<0.001$) für den Auria bestätigt werden.

Neben den zunächst betrachteten SRT Mittelwerten (Abb. 2) wurden auch die individuellen Testergebnisse betrachtet. Diese sind in den beiden nachfolgenden Diagrammen (Abb. 3 u. 4) in Abhängigkeit vom HSM Satztest bei +10dB SNR angegeben.

Bei den Auria-Nutzern war für die +/- 10dB Modifikation eine Streuung der Sprachverständlichkeitspegel (SRT) von -4dB bis +5dB zu beobachten. Die 3G- und die Freedom-Gruppe hingegen zeigten deutlich größere Streuungen, wobei die Testsituation einzelnen Studienteilnehmern besonders auffallende Schwierigkeiten bereitete. Die Ergebnisse variierten von -2dB bis +13dB (3G) und von -1.5dB bis +11dB (Freedom).

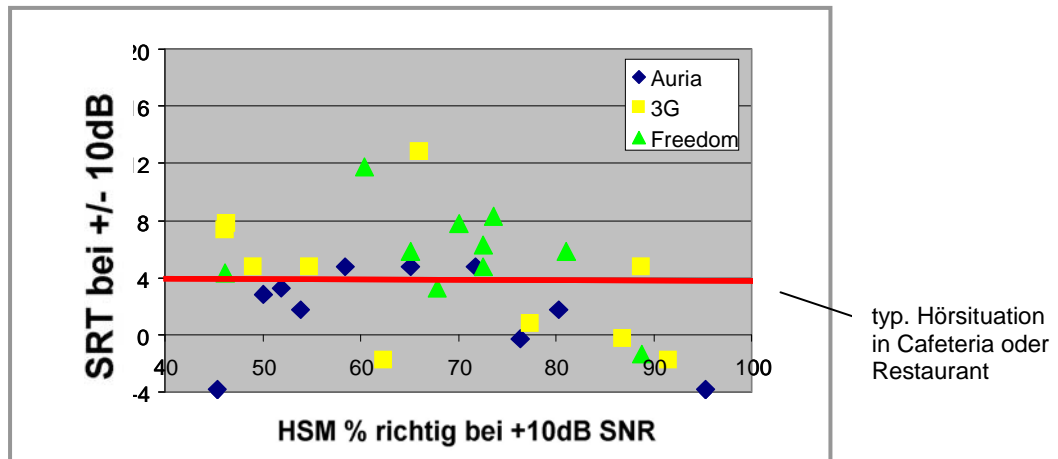


Abb. 3: SRT Ergebnisse für die +/- 10dB Kondition in Abhängigkeit vom HSM Satztestergebnis bei +10dB SNR

Wie bereits angedeutet war die Streuung der Ergebnisse bei der +/- 15dB Kondition größer. Die Auria-Gruppe verschlechterte sich auf einen Bereich von -1.5dB bis +6.5dB. Die beiden anderen Gruppen sogar auf 0dB bis +17.5dB (3G) und +2dB bis +14.5dB (Freedom).

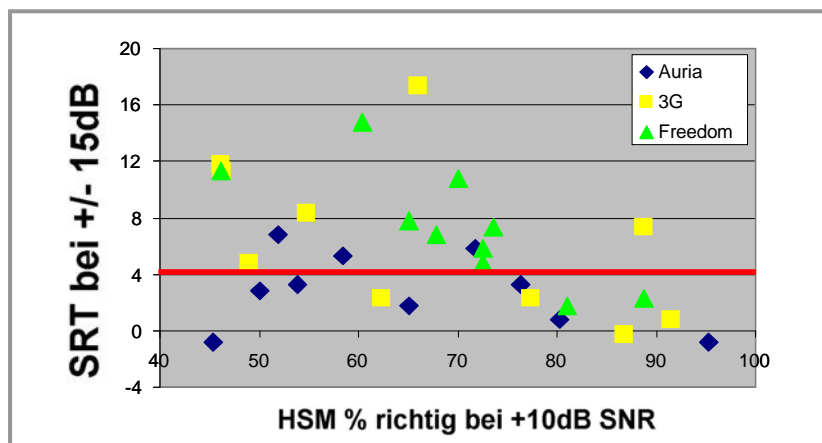


Abb. 4: SRT Ergebnisse für die +/- 15dB Kondition in Abhängigkeit vom HSM Satztestergebnis bei +10dB SNR

Diskussion

Trotz der sorgfältigen Auswahl von Studienteilnehmern anhand übereinstimmender demographischer Daten und HSM Satztestergebnissen im Störgeräusch, konnten signifikante und tendenzielle Unterschiede in den verwendeten Tests dieser Studie gefunden werden, welche die Anforderungen im Alltag besser repräsentieren.

Obwohl es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen im HSM Satztest mit +10dB SNR gab (Ausgangspunkt der Studie), zeigten die Ergebnisse dieses klinischen Tests eine aufsteigende Reihenfolge von Auria-Nutzern über Esprit 3G-Nutzern zu Freedom-Nutzern. In dem neuen Test mit variierenden Pegeln dreht sich diese Reihenfolge genau um.

In den Tests mit variierenden Pegeln war die Auria-Gruppe signifikant besser (niedrigerer Signal-Rausch-Abstand (SNR) für 50% Satzverständnis) als die Freedom- und tendenziell besser als die 3G-Gruppe. Interessanterweise unterschieden sich die 3G- und die Freedom-Gruppe nicht signifikant von einander, d.h. sie waren nahezu auf gleichem Niveau. Der Grund hierfür könnte sein, dass viele der ursprünglichen 3G Nutzer bereits auf den Freedom umgestiegen sind. Somit dürften bei dieser Studie mit hoher Wahrscheinlichkeit nur 3G Nutzer teilgenommen haben, die sehr gut mit ihrem Esprit 3G zurecht kamen und sich gegen einen Wechsel auf den Freedom entschieden haben. Dadurch ist die mittlere Nutzungsdauer der Studienteilnehmer mit 3G deutlich höher als die der beiden anderen Gruppen. Man würde erwarten, dass eine längere Nutzungsdauer eher zu besseren Ergebnissen im Test mit variierenden Pegeln führt, also dem hier gefundenen Ergebnis entgegen wirkt.

Im Vergleich der Durchschnittswerte der +/- 10dB- und der +/- 15dB-Kondition zeigte die Auria-Gruppe eine auffallend geringe Verschlechterung hin zur +/- 15dB-Kondition als die 3G- und die Freedom-Gruppe.

In Anbetracht dessen, dass alle Studienteilnehmer dieser Studie einen starken Ceiling-Effekt⁵ im HSM Satztest in Ruhe und Ergebnisse zwischen 40% und nahezu 100% im Störgeräusch von +10dB SNR aufwiesen, war anzunehmen, dass alle Studienteilnehmer sehr gut in alltäglichen Kommunikationssituationen zurecht kämen. Da +4dB bis +5dB SNR (bedeutet: der Sprachpegel ist um 4dB bzw. 5dB lauter als das Störgeräusch) typische Situationen in einer Cafeteria oder einem Klassenzimmer [Mülder 2006] darstellen, ist die Verteilung der Ergebnisse um diesen Schlüsselbereich von besonderem Interesse.

Die Einzelergebnisse in Abb. 3 und 4 zeigen, dass

- 70% der Auria-Nutzer *bessere* SRTs
- 60% der 3G- und 80% der Freedom-Nutzer *schlechtere* SRTs

als +4dB aufweisen.

Diese Betrachtung gilt für beide Test-Varianten; für die +/- 10dB- wie auch für die +/-15dB-Konfiguration. Es ist anzunehmen, dass eine solch starke Abweichung bei den Testergebnissen bei so sorgfältig ausgewählten Studienteilnehmern auf erhebliche Unterschiede für das Verständnis in Alltagssituationen schließen lässt. Die Art der derzeit verwendeten Tests, wie z.B. der hier zu Grunde liegende HSM-Satztest mit konstantem Präsentationspegel, wird somit in Frage gestellt.

In Ergänzung dieser Studie sind weitere Tests mit Freedom-Nutzern geplant, die einen größeren IDR als die 45dB-StandardEinstellung verwenden. Außerdem bietet der Freedom eine Automatische Empfindlichkeits-Regelung (ASC; Automatic Sensitivity Control) an, welche interessanterweise nur von sehr wenigen Studienteilnehmern im Alltag genutzt wurde; wenn überhaupt, so nur bei sehr speziellen Gelegenheiten. In wie weit es der ASC möglich sein wird, den IDR als Reaktion auf wechselnde Präsentationslevel anzupassen, wird ebenfalls in anstehenden Tests untersucht.

⁵ Ceiling-Effekt: auch ‚Deckeneffekt‘: tritt ein, wenn erreichte Ergebnisse bereits so gut sind, dass Änderungen im Testverfahren kaum noch eine Auswirkung auf die Resultate erwirken.

Zusammenfassung

Untersuchungen anhand von in ihren demographischen Daten und Sprachtests (HSM Satztest bei +10dB SNR) übereinstimmenden Studienteilnehmern zeigten statistisch signifikante Unterschiede im Test mit wechselnden Präsentationspegeln. Die Auria-Gruppe zeigte die besten Ergebnisse. Der Auria HdO hat den größten IDR in diesem Vergleich und bietet eine zweistufige AGC. Möglicherweise führen diese technischen Eigenschaften zu einem signifikanten Vorteil beim Hören in Alltagssituationen, in denen Störgeräusche und wechselnde Signalpegel unterschiedlicher Sprecher verarbeitet werden müssen. Da große Unterschiede bei einer sorgfältig abgeglichenen Gruppe gefunden wurden, sollte den zur Leistungskontrolle moderner CI Prozessoren verwendeten Methoden mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die besten CI-Träger weisen Ergebnisse auf, die an den als normal hörend betrachteten Bereich heranreichen, eine eindringliche Bestätigung der modernen Signalverarbeitungstechnologie.

Literatur:

Spahr A, Dorman M (2007):

Performance of Patients Using Different Cochlear Implant Systems: Effects of Input Dynamic Range
Ear and Hearing: 28:260-275

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 1997 Nov; 18 (6 Suppl): S83

Mülder H (2006):

FM in Schulen. Information on FM Systems

©Phonak hearing systems