

# Savia™

Digital Bionics

## Die Anatomie von Savia



## Zusammenfassung

Savia, das First Class Hörsystem von Phonak, ist konsequent auf natürliches, müheloses Hören in allen Hörsituationen ausgerichtet.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden auf der Basis von Lösungen aus der Natur bahnbrechende Innovationen entwickelt und in Hochtechnologie umgesetzt. Die Innovationen umfassen neue Signalverarbeitungs-Strategien, intuitiv zu nutzende Anpasswerkzeuge und hochentwickelte Systemfunktionen. Savia analysiert und klassifiziert alle Hörsituationen des Alltags und passt sich kontinuierlich und automatisch allen akustischen Umgebungen an. Dies garantiert Sprachverständlichkeit und höchsten Hörkomfort sogar in schwierigen Hörumgebungen und führt zu einer außergewöhnlich hohen Kundenzufriedenheit.

## Einführung

Die Anforderungen an gutes Hören von Menschen mit Hörminderung sind vielfältig und individuell. Neben einer mühelosen Sprachverständlichkeit, besonders in Situationen mit mehreren Störgeräuschquellen, und natürlichen Schallortungsfähigkeiten wünschen sie rückkopplungs- und okklusionsfreie Anpassungen und Kommunikationsmöglichkeiten in hallenden Umgebungen. Savia stellt sich erfolgreich diesen Anforderungen. Die Feinanpass-Werkzeuge des Hörsystems sind kundenzentriert, damit die effektiven Einstellungen für maximale Kundenzufriedenheit schnell und effizient erreicht werden.

Das Forschungs- und Entwicklungsteam von Phonak hat eine Reihe von einzigartigen Innovationen entwickelt und zum ersten Mal in ein digitales Hörsystem – Savia Digital Bionics – integriert. Das Savia Konzept (siehe Abbildung 1) umfasst Signalverarbeitungs-Strategien, Anpasswerkzeuge und Systemfunktionen, die sich direkt auf die individuellen Bedürfnisse des Kunden mit Hörminderung beziehen.

# Das Savia Konzept

## AutoPilot

SoundNavigation

EasyPhone

EasyFM

## iPFG Successware

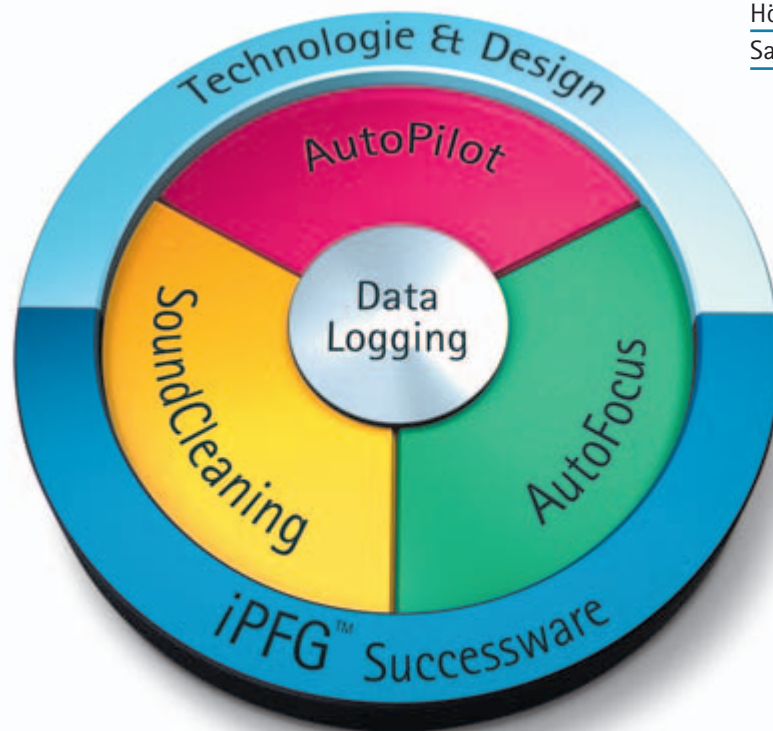
DataLogging mit

Lautstärkeabgleich

iCOSI

Hörsituations-Anpassung

Savia Insight



## SoundCleaning

EchoBlock

Gegenphasige Rückkopplungsauslöschung

Hochauflösende Störgeräusch-Unterdrückung

Windgeräusch-Unterdrückung

## AutoFocus

digital SurroundZoom

Real Ear Sound

Abbildung 1: Zentrale Systemfunktionen, Anpasswerkzeuge und technologische Komponenten von Savia Hörsystemen

# AutoPilot



## Kundenanforderung

Das Hörsystem soll sich jeder Hörsituation automatisch anpassen und damit natürliches Hören ermöglichen. Menschen erleben im Alltag verschiedene Arten von akustischen Umgebungen. Alle Umgebungen werden individuell unterschiedlich bewertet. Die zentrale

Anforderung an Hörsysteme: Sie müssen sich den unterschiedlichen Hörumgebungen individuell anpassen und gleichzeitig individuell programmierbar sein, z.B. für maximales und müheloses Sprachverstehen bei leisen Gesprächen aber Hörkomfort in lauten Situationen.

## Die Savia Lösung: AutoPilot mit SoundNavigation

Die akustische Umgebung ist vielfältig und individuell, aber Untersuchungen zeigen, dass Alltagssituationen in vier Hauptkategorien unterteilt werden können, die praktisch jede Hörsituation abdecken: Ruhige Situationen, Sprache im Störgeräusch, nur Störgeräusch und Musik (siehe Abbildung 2).

entsprechenden Signalverarbeitungs-Arten und Einstellungen. Der Kunde muss die Programme nicht manuell wechseln. SoundNavigation analysiert die akustische Situation kontinuierlich, klassifiziert sie anhand der vier Kategorien und aktiviert das entsprechende Basisprogramm (siehe Abbildung 3).

In jeder dieser vier Hörsituations-Hauptgruppen muss das Hörgerät individuelle Hörerwartungen erfüllen. Beispielsweise erwartet ein Anwender in Ruhe ein klares, natürliches und müheloses Hören. Das Hören von Sprache in lauten Umgebungen benötigt eine wirksame Störgeräusch-Unterdrückung für eine optimale Sprachverständlichkeit. Andererseits wird beim Musikhören ein reicher, voller und unverzerrter Klang erwartet. Um diese unterschiedlichen Bedürfnisse wirkungsvoll zu erfüllen, bietet Savia vier automatische Basisprogramme. Jedes Basisprogramm verfügt über die der Hörerwartung

Bei der Komponenten-Extraktion werden anhand des Eingangssignals kontinuierlich spezifische akustische Parameter berechnet. Diese sind für das jeweilige Signal charakteristisch und ermöglichen eine genaue Klassifizierung. Diese Parameter beschreiben sowohl die Intensität als auch die spektralen und zeitlichen Eigenschaften des Signals. Von der sogenannten Auditory Scene Analysis (Bregman 1990) ist bekannt, dass auch Menschen diese Parameter verwenden, um spezifische «akustische Objekte» zu unterscheiden. Dies ist die Grundlage für das Sprachverstehen in lauten

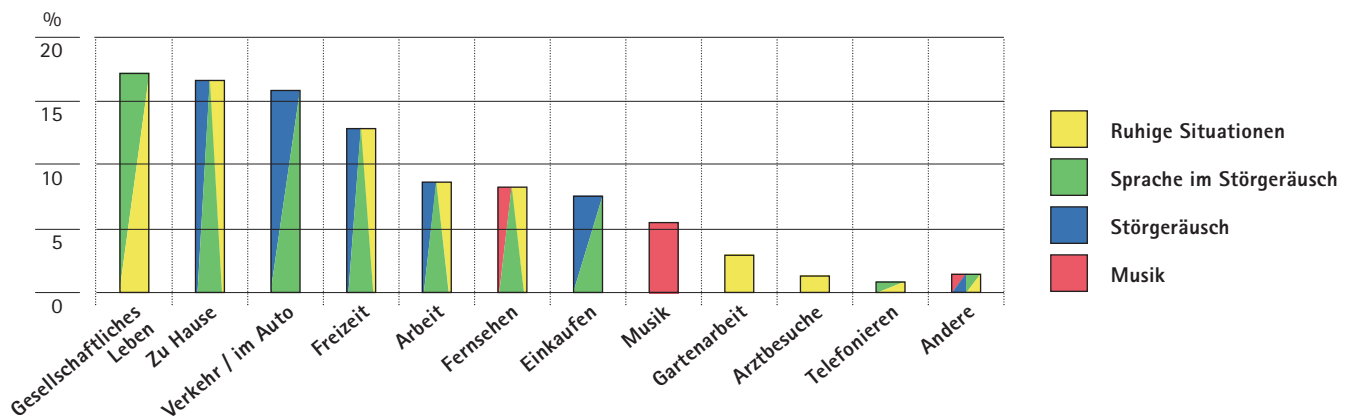


Abbildung 2: Hörsituationen, die als relevant beschrieben wurden (Gabriel, 2004). Insgesamt wurden mehr als 750 individuelle Situationen beschrieben. Die meisten Situationen werden nicht nur durch eine Kate-

gorie alleine erfasst, sondern stellen Kombinationen aus beispielsweise ruhigen Situationen und Sprache im Störgeräusch dar. Dies ist qualitativ angegeben.

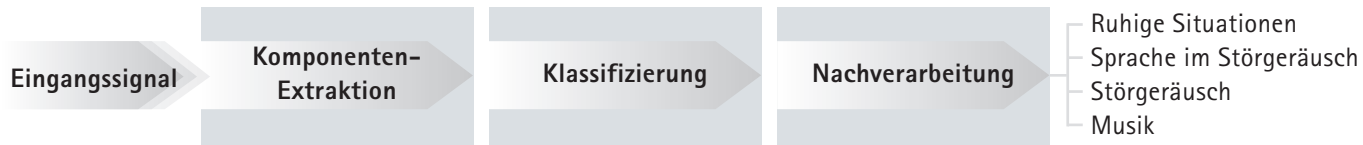


Abbildung 3: Beurteilung der akustischen Umgebung: Wahl des Basisprogramms

Umgebungen oder für die Identifikation eines bestimmten Musikinstrumentes in einem Orchester. Allgemein ausgedrückt erlauben diese Parameter eine Klassifizierung des Eingangssignals. Dies geschieht in einer nachfolgenden Verarbeitungsphase, die eine statistische Analyse der extrahierten Parameter umfasst. Die Nachverarbeitung führt eine Korrektur der Klassifizierungsausreißer durch. Um festzustellen, in welche der vier Kategorien das Eingangssignal gehört, wird eine Beobachtungszeit von weniger als 10 Sekunden benötigt. Der fließende Übergang zum entsprechenden Basisprogramm dauert je nach Anwenderpräferenz bis zu



Abbildung 4: Funktionsweise der SoundNavigation. Sobald sich die akustische Umgebung verändert, detektiert dies SoundNavigation und aktiviert das passende Hörprogramm.

5 Sekunden. Abbildung 4 zeigt, wie SoundNavigation automatisch das entsprechende Basisprogramm wählt.

## Kundenanforderung

**Unkomplizierte Verwendung von Telefonen und Funksystemen.** Das Telefon ist ein unerlässliches Kommunikationsmittel. Außerdem sind Funksysteme für viele Kunden mit Hörminderung sehr wichtig, da sie

besonders in akustisch anspruchsvollen Situationen einen enormen Vorteil bieten. Der Einsatz dieser Kommunikationsmittel sollte so einfach und problemlos wie möglich sein.

## Die Savia Lösung: EasyPhone und EasyFM

Savia HdO-Hörsysteme mit angeschlossenen FM-Empfängern stellen automatisch fest, ob ein FM-Signal vorhanden ist. Wenn beispielsweise ein mit einem FM-Sender ausgestatteter Dozent eine Vorlesung beginnt, schaltet Savia automatisch in den «FM+M» Modus. Der Höreräteträger muss das FM-Programm nicht manuell wählen. Wenn kein FM-Input mehr festgestellt wird, schaltet Savia zurück zum passenden Basisprogramm. Sobald der Kunde einen Telefonhörer (mit Magnet) ans Ohr hält, schaltet Savia automatisch in das dafür vorgesehene Telefon-Programm um (T-Spule oder akustisches Telefon). So wird das Telefonieren für Menschen mit Hörminderung genauso mühelos und natürlich wie für normal hörende Menschen.

Abbildung 5 stellt die Savia Programmhierarchie dar. An oberster Stelle steht der EasyPhone Detektor. Wenn der Anwender einen Telefonhörer ans Ohr hält, ist die Absicht eindeutig: der Anwender möchte telefonieren. Das Telefonprogramm wird unabhängig vom Modus, in dem sich das Hörgerät befindet, automatisch aktiviert.

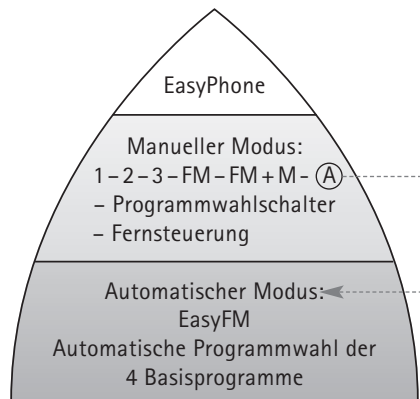


Abbildung 5: Die Programmhierarchie-Stufen von Savia

Der manuelle Modus, in welchem der Anwender die Hörprogramme manuell wählen kann, befindet sich auf der zweiten Hierarchiestufe. Der automatische Modus wählt das passende Basisprogramm je nach Umgebung autonom. Im Automatik-Modus wird FM+M aktiviert, wenn ein Audio-Eingangssignal vorhanden ist.

# AutoFocus



## Kundenanforderung

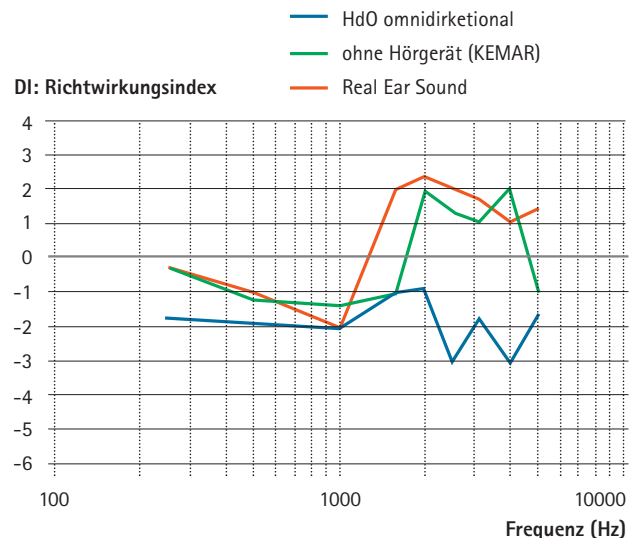
**Genauere Schallortungsfähigkeit.** Eine präzise Schallortung ist die Grundlage zur Erstellung einer akustischen «Landkarte», mit deren Hilfe man sich orientiert und sicher fühlt. Zusätzlich verbessert sich die Verständ-

lichkeit und die natürliche Klangqualität eines Sprachsignals, wenn der Ort der Sprachquelle neben störenden Schallquellen wahrgenommen wird (Plomp, 1976).

## Die Savia Lösung: Real Ear Sound

Unsere Schallortungsfähigkeit basiert auf akustischen Merkmalen wie z.B. dem zeitlichen und intensitätsbezogenen Unterschied des durch die Ohren wahrgenommenen Signals, aber auch auf der spektralen Verformung des Signals durch die Ohrmuschel. Die von Ohr zu Ohr auftretenden Zeit- und Intensitätsunterschiede liefern Informationen über den horizontalen Winkel der Schallquelle und die Ohrmuschel-Hinweise sind für die vertikale Ortung und die vorne/hinten-Unterscheidung wichtig (siehe z.B. Blauert, 1997). Hinter-dem-Ohr-Hörgeräte, welche die Ohrmuschel-Effekte nicht berücksichtigen, beeinflussen die Schallortungsfähigkeit durch die Mikrofonposition über dem Ohr nachteilig. Dies wurde sowohl für die vertikale (Noble und Byrne, 1990) als auch für die horizontale Schallortung (Orton und Preves, 1979; Noble und Byrne, 1990) festgestellt. Dies bedeutet, dass alle Träger von bisherigen HdO-Hörgeräten in Bezug auf die Schallortungsfähigkeit schlechter gestellt werden mussten als im unversorgten Zustand, da die Ohrmuschel-Einflüsse unberücksichtigt blieben.

Savia mit Real Ear Sound ist das erste Hörsystem, das die spektralen Effekte der Ohrmuschel simuliert. Abbildung 6 zeigt den frequenzabhängigen Richtwirkungsindex bei drei Bedingungen: 1.) gemessen im Ohr ohne Hörgerät (d.h. die natürliche Richtwirkung) 2.) Ausgang eines konventionellen HdOs im omni-direktionalen Modus und 3.) mit Real Ear Sound. Es ist ersichtlich, dass die natürliche Richtwirkung bei hohen Frequenzen oberhalb von 1,5 kHz, die bei konventionellen HdOs verloren geht, durch Real Ear Sound wieder hergestellt wird. Savia erfüllt damit die Anforderung an eine präzise Schallortung und einen natürlichen Klangeindruck.



**Abbildung 6:** Real Ear Sound stellt die natürliche Richtwirkung der Ohrmuschel wieder her.

# Kundenanforderung

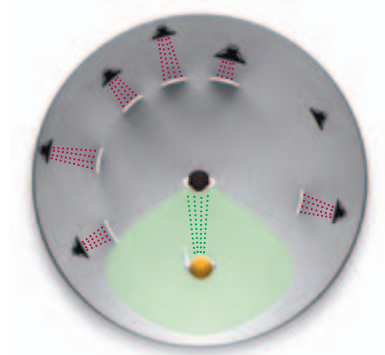
**Maximaler Richtwirkungs-Vorteil.** Für Menschen mit Hörminderung hat gutes Sprachverstehen oberste Priorität (Kochkin, 1993). Heutzutage ist die Verwendung von Richtmikrofonen bei Hörgeräten die wirksamste Technologie zur Erhöhung der Sprachverständlichkeit

(z.B. Killion, 2004). Die Unterdrückung des Störschalls erhöht den Signal-Rausch-Abstand und somit die Sprachverständlichkeit in schwierigen Situationen. Die Richtwirkung bei Hörgeräten hat deshalb einen hohen Einfluss auf die Kundenzufriedenheit.

## Die Savia Lösung: digital SurroundZoom

In den letzten Jahren wurde die direktionale Technologie bei Hörgeräten stark verbessert. In 1999 führte Phonak die adaptive Richtwirkung ein, welche die Vorteile von direktonaler Technologie in vielen Alltagssituationen noch erhöht (Ricketts und Henry, 2002; Kühnel und Checkley, 2002). Bei der adaptiven Richtwirkung wird die polare Charakteristik kontinuierlich angepasst, wodurch die lauteste Störschallquelle am stärksten unterdrückt und gleichzeitig das Sprachsignal von vorne verstärkt wird. Um Störschall optimal zu unterdrücken, wird bei Schallquellen von hinten eine kardioidale und bei seitlichen eine bipolare Richtwirkung gewählt. Realistisch treten im Alltag oft Situationen mit mehreren Störschallquellen auf, die örtlich und spektral getrennt sind (Abbildung 7).

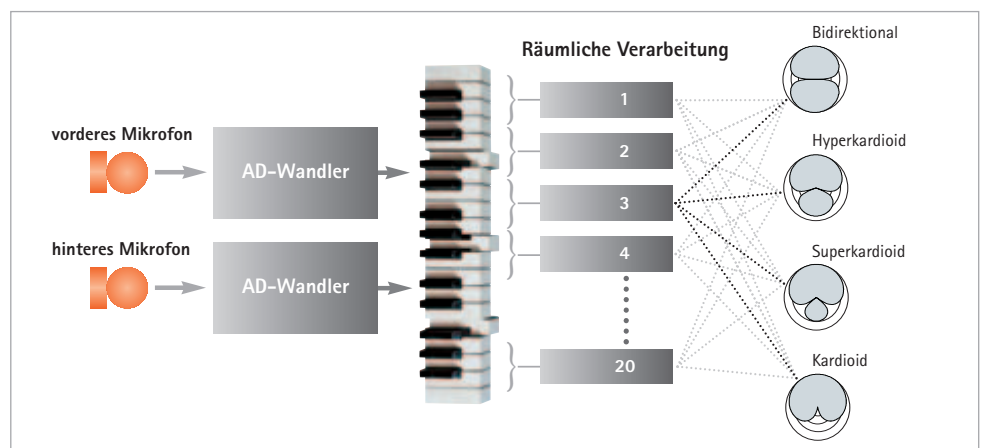
Das Savia digital SurroundZoom berücksichtigt dies und setzt einen Meilenstein in der direktonalen Mikrofontechnologie. Die Einstellung der Richtcharakteristik geschieht frequenzspezifisch. Die Richtwirkung muss nicht notwendig in allen Frequenzen gleich sein. Sie wird in 20 unabhängigen Kanälen selektiv auf die im jeweiligen Kanal vorhandenen Störgeräusche eingestellt.



**Abbildung 7:** In vielen Alltagssituationen treten Störschallquellen örtlich und spektral getrennt auf. Savia digital SurroundZoom ermöglicht die selektive Unterdrückung dieser Störgeräusche.

Für jeden Kanal wird die optimale Richtwirkung berechnet und in wenigen Millisekunden aktiviert (Abbildung 8). Dies ergibt die optimale direktonale Anpassung an die akustische Umgebung und das wichtigste Kundenbedürfnis ist somit erfüllt: gutes Sprachverstehen in schwierigen Hörsituationen.

**Abbildung 8:** Digital SurroundZoom berechnet die optimale Richtwirkung in jedem der 20 unabhängigen Frequenzkanäle.



# SoundCleaning



## Kundenanforderung

**Müheloses Hören und Hörkomfort in schwierigen Hörsituationen** ohne Beeinträchtigung der Klangqualität und der Sprachverständlichkeit.

## Die Savia Lösung: SoundCleaning

SoundCleaning von Savia verfügt über neue Signalverarbeitungs-Strategien zur Erhöhung des Hörkomforts in schwierigen akustischen Situationen. Solche Situationen weisen beispielsweise Nachhall und Windgeräusche auf, die die Sprachverständlichkeit und den Hörkomfort erschweren. Ein anderes Beispiel sind akustische Rückkopplungen, die nicht nur lästig sind, sondern auch die maximal mögliche Verstärkung reduzieren.

SoundCleaning ist eine Hightech-Signalverarbeitung, mit der diese Schwierigkeiten beseitigt und maximale Klangtransparenz, entspanntes Hören und optimaler Hörkomfort erreicht werden.

### EchoBlock

Nachhall wird durch Schallreflexionen an Wänden, Fenstern bzw. der Decke erzeugt. Der reflektierte Schall ist eine verzögerte, spektral leicht modifizierte und gedämpfte Kopie des ursprünglichen Signals. Das Ohr nimmt eine Überlagerung des ursprünglichen, direkten Schalls und des reflektierten Schalls auf (siehe Abbildung 9). Das ursprüngliche Signal wird so zeitlich «verwischt». Der Nachhall wird charakterisiert durch die Nachhallzeit, die angibt, wie lange es braucht, bis die

Reflexionen abklingen. Der typische Bereich von Nachhallzeiten liegt zwischen etwa 0,4 s in Büros und kleinen Vorlesungssälen bis zu 2 s oder mehr in Konzertsälen und Kirchen. Nachhall reduziert die Sprachverständlichkeit in leisen und in lauten Situationen (Johnson, 2000). Außerdem sind Richtmikrofone in hallenden Umgebungen weniger wirksam (Ricketts und Hornsby, 2003).

Einzigartig in Savia: EchoBlock erkennt und unterdrückt Nachhall wirkungsvoll (siehe Abbildung 10).

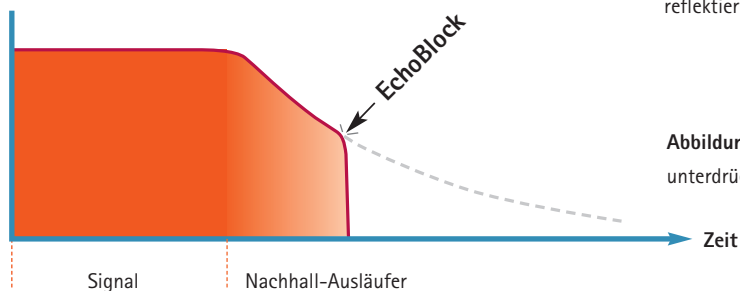


Abbildung 9: Nachhall – Überlagerung des direkten Schalls mit reflektiertem Schall

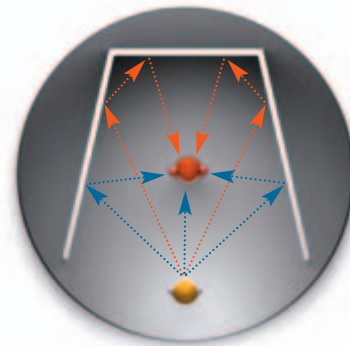


Abbildung 10: Das Prinzip von EchoBlock. Der Nachhall wird erkannt und unterdrückt.

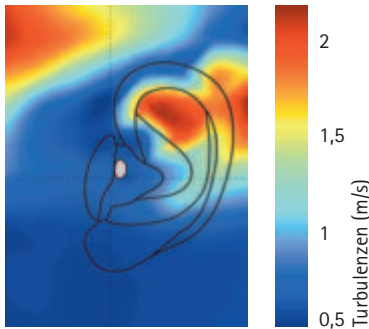


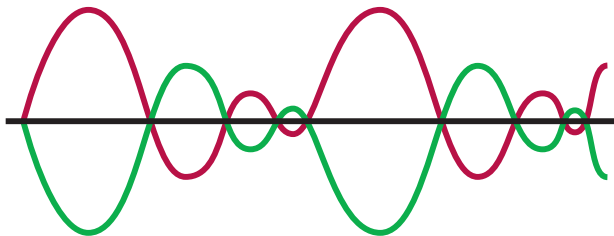
Abbildung 11: Turbulenzen am Ohr bei einem leichten Wind (5 m/s).

### Windgeräusch-Unterdrückung

Windgeräusche werden durch Turbulenzen am Kopf, am Körper, an der Ohrmuschel und am Hörgerät erzeugt (siehe Abbildung 11).

Windgeräusche liegen im Tiefton-Bereich und können sehr hohe Schalldruckpegel erreichen. Sie sind dynamisch und hängen von der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit ab. Windgeräusche können bei Hörgeräten Maskierungseffekte verursachen und die Mikrofone in die Sättigung führen. Wegen der hohen Windgeräuschpegel reagieren die Kompressionsalgorithmen bisheriger Hörgeräte mit einer Verstärkungsreduktion.

Die Windgeräusch-Unterdrückung bei Savia basiert auf zwei Methoden: mechanischer Schutz und elektronische Unterdrückung. Der Wind- und Wetterschutz bei Phonak HdO-Hörgeräten dämpft die Turbulenzen mechanisch, bevor sie die Mikrofone erreichen. Elektronisch werden die verbleibenden Windgeräusche mittels Signalanalyse erkannt und unterdrückt. Diese einmalige Kombination aus mechanischer und elektronischer Windgeräusch-Unterdrückung ermöglicht Savia, die Richtcharakteristik der Mikrofone sogar in Umgebungen mit Wind beizubehalten.



### Hochauflösende Störgeräusch-Unterdrückung

Störgeräusch-Unterdrückungssysteme senken konstante Hintergrundgeräusche wie Motoren- oder Ventilatorenlärm ab. Die Savia Störgeräusch-Unterdrückung ist in 20 unabhängigen, hochauflösenden Frequenzkanälen wirksam. Dies ermöglicht eine effektive Unterdrückung von Hintergrundgeräuschen unabhängig von deren spektralen Beschaffenheit.

### Gegenphasige Rückkopplungsauslöschung

Modernste Mikroprozessoren ermöglichen die Implementierung von leistungsstarken Signalverarbeitungsstrategien für eine wirkungsvolle Unterdrückung von akustischen Rückkopplungen. Die Savia Rückkopplungsauslöschung basiert auf einem Phasenumkehr-Ansatz im Frequenzbereich. Beim angewendeten Prinzip der Phaseninvertierung wird die Phase der Schallwellen um 180°gekehrt und zum ursprünglichen Signal addiert. Dies löscht das Signal aus (siehe Abbildung 12). Die Rückkopplungen werden unterdrückt, ohne die Verstärkung zu reduzieren.

Der Algorithmus besteht aus drei Schritten: Rückkopplungs-Erkennung, Modellierung des Rückkopplungspfad und Eliminierung der Rückkopplung. Für die Erkennung wird eine hochauflösende Korrelationsanalyse zwischen dem Hörgeräte-Eingangssignal und dem Ausgangssignal durchgeführt. Akustische Rückkopplungen haben ein charakteristisches Korrelationsmuster, das für die Erkennung verwendet wird. Für die Eliminierung wird ein phaseninverses Signal mit der gleichen Frequenz und Amplitude wie das Rückkopplungssignal erzeugt. Durch diese «destruktive» Interferenz wird das Rückkopplungssignal wirksam unterdrückt, ohne dabei die Verstärkung zu reduzieren.

Abbildung 12: Das Prinzip der Phaseninversion. Das Rückkopplungssignal (rot) und das phaseninvertierte Signal (grün) heben einander auf (flache schwarze Linie).



## Kundenanforderung:

Eine direkte Umsetzung der individuellen Anforderungen in den Hörgeräte-Einstellungen. Menschen mit Hörminderung haben Hörprioritäten und Situationen, in denen sie individuellste Anforderungen an das Hörgerät

haben. Um eine effektive Zufriedenheit zu erreichen, müssen diese Anforderungen unmittelbar bei der Hörgeräteanpassung berücksichtigt werden.

## Die Savia Lösung: iCOSI

Die «Client Oriented Scale of Improvement» (COSI, Dillon, 1997) ist ein Selbsteinschätzungsfragebogen, der die wichtigsten Hörziele behandelt. Im Gegensatz zu Fragebögen mit konkreten Themen (die für die jeweilige Person vielleicht nicht relevant sind) kann der Kunde die individuell relevanten Hörsituationen angeben. So kann man sich bei der Anpassung auf die zentralen Themen konzentrieren. Bei der iPFG, der Anpass-Software von Savia, ist iCOSI nicht nur ein «Anhang» für die

Beurteilung des Anpassprozesses, sondern ist in den Anpassprozess eingebettet und vollständig integriert (siehe Abbildung 13).

Der Einsatz von iCOSI stellt sicher, dass die wichtigsten Bedürfnisse des Kunden während des gesamten Anpass- und Fein Anpassprozesses berücksichtigt werden, d.h. nicht nur am Anfang und am Ende der Anpassung.

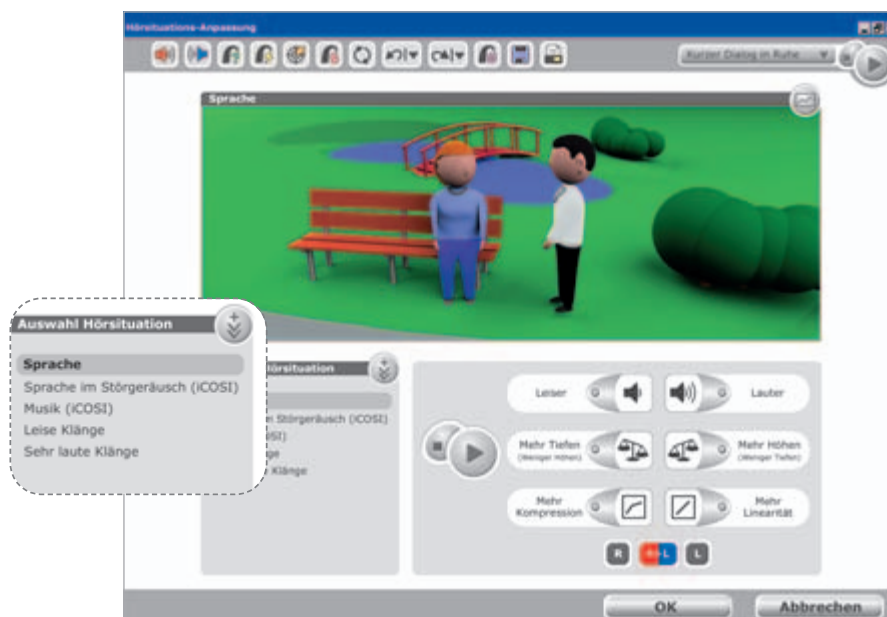


Abbildung 13: Integration von iCOSI in den Anpassprozess.

## Kundenanforderung:

Die Feinanpassung des Hörgerätes sollte die Häufigkeit manueller Lautstärke-Einstellungen reduzieren. In unterschiedlichen Hörsituationen verändert der Kunde die Lautstärke. Manchmal sind diese Modifikationen systematisch, d.h. der Kunde reduziert die Lautstärke beispielsweise praktisch immer in lauten Situa-

tionen. Dies deutet darauf hin, dass eine Feinanpassung nötig wäre. Die Feinanpassung war bisher hauptsächlich durch unspezifische Kundenbemerkungen bestimmt. Der Hörgeräte-Akustiker musste den Pegel der Feinanpassung grob schätzen.

## Die Savia Lösung: DataLogging mit Lautstärkeabgleich

Savia Hörsysteme verfügen über eine Innovation, die völlig neue Möglichkeiten bei der Hörgeräte-Anpassung und bei Beratungsgesprächen eröffnet: DataLogging. Der Hörgeräte-Akustiker hat nun Zugriff auf quantitative Informationen über die individuelle Hörgeräte-Verwendung. Zusätzlich zu subjektiven Bemerkungen des Kunden stehen dem Hörgeräte-Akustiker damit objektive Informationen zur Verfügung, um den Anpassprozess auf eine sehr effiziente Weise zu gestalten. Diese objektiven Daten umfassen:

- Gesamte Einsatzdauer
- Durchschnittliche Einsatzdauer pro Tag
- Programmeinstellungen
- Manuell vorgenommene Lautstärke-Veränderungen

Ein gleitender Durchschnitt wird aus den Lautstärke-Einstellungen des Kunden im Alltag berechnet. Die letzten Lautstärke-Einstellungen werden deshalb stärker gewichtet als Einstellungen, die vor einer längeren Zeit durchgeführt wurden. Mögliche Akklimatisierungs-Veränderungen werden auf diese Weise entsprechend berücksichtigt. Basierend auf dem gleitenden Durchschnitt berechnet der Savia Lautstärkeabgleich einen Feinpass-Vorschlag, der durch den Hörgeräte-Akustiker bei der nächsten Konsultation aktiviert werden kann (siehe Abbildung 14). Die Hörgeräte modifizieren die Einstellungen nicht autonom. Der Hörgeräte-Akustiker hat somit die volle Kontrolle über die Feinpass-Aktionen, die nun basierend auf den zusätzlichen, objektiven Daten durchgeführt werden können.

DataLogging bietet weitere Informationen, wie z.B. die durchschnittliche Einsatzdauer pro Tag oder die Häufigkeit, mit der Programme gewählt werden. Dies ist nützlich für individuelle Beratungsgespräche, deren Ziel es ist, die individuellen Bedürfnisse des Kunden für eine nachhaltige Zufriedenheit zu berücksichtigen.



Abbildung 14: Lautstärkeabgleich. Feinpassungsvorschlag basierend auf den effektiven Lautstärke-Einstellungen des Kunden im Alltag.

## Bibliografie

Blauert J (1997). Spatial hearing. The psychophysics of human sound localization. Revised edn. MIT Press, Cambridge, MA.

Bregman AS (1990). Auditory Scene Analysis (MIT Press, Cambridge).

Dillon H, James A, Ginis J (1997). Client Oriented Scale of Improvement (COSI) and its relationship to several other measures of benefit and satisfaction provided by hearing aids. *J Am Acad Audiol* 8(1): 27-43.

Checkley P and Kühnel V (2000). Advantages of an adaptive multimicrophone system. *The Hearing Review* 7 (5):58-60 & 74.

Gabriel B (2003). Research Report 20030029, Hörzentrum Oldenburg, Germany.

Johnson CE (2000). Children's phoneme identification in reverberation and noise. *Journal of Speech Language and Hearing Research* 43(1):144-57.

Killion M (2004). Myths about hearing in noise and directional microphones. *Hearing Review* 11(2):14-19,72-73.

Kochkin S (1993). MarkeTrak III identifies key factors in determining customer satisfaction. *Hearing Journal* 46(8): 39-44.

Noble W and Byrne D (1990). A comparison of different hearing aid systems for sound localization in the horizontal and vertical planes. *British Journal of Audiology* 24:335-342.

Orton JF and Preves DA (1979). Localization ability as a function of hearing aid microphone placement. *Hearing Instruments* 30:18-21.

Plomp R (1976). Binaural and monaural speech intelligibility of connected discourse in reverberation as a function of azimuth of a single competing sound source (speech or noise). *Acoustica* 34:200-211.

Ricketts T and Henry P (2002). Evaluation of an adaptive, directional-microphone hearing aid. *Int. Journal of Audiology* 41:100-112.

Ricketts TA, Hornsby BW (2003). Distance and reverberation effects on directional benefit. *Ear and Hearing* 24(6):472-84.