

# Sound Stabilizer™ und SIS™

## Einführung

In automatisch arbeitenden Hörgeräten variiert die Verstärkungscharakteristik als Funktion der Schallsignale, die auf das Gerät einwirken. Nicht nur das momentane Schallsignal hat auf die Verstärkung des Gerätes einen Einfluß, sondern auch das unmittelbar vorausgegangene Schallbild. Ein Hörgerät wird durch die Strategie, wie die Verstärkung als Funktion der Zeit geregelt wird, charakterisiert.

SENSO<sup>1</sup> enthält einen komplexen Algorithmus zur Regelung der Verstärkung, da die Verstärkung in den einzelnen Bändern teils aufgrund des momentanen Schalleinflusses und teils aufgrund einer statistischen Analyse des Schallverlaufes innerhalb eines Zeitfensters mit einer Länge von 20-30 Sekunden geregelt wird. Aufgrund der Eigenschaften des Schallsignals entscheiden die logischen Funktionen des SENSO, wie die Regelung verlaufen soll, d.h. teils, wie die momentane Verstärkung in jedem Band reguliert werden muß und teils, wie schnell geregelt werden soll. Die auf Statistik begründete Regelung ist eine besondere Eigenschaft des SENSO-Systems, da die vorherrschenden Ein- und Ausschwingzeiten durch das gewählte Zeitfenster wesentlich

länger sind, als bei den meisten anderen Hörgeräten. Dies führt dazu, daß die spektrale und zeitliche Verschmierung (smoothing) im SENSO minimal ist, d.h., der spektrale und zeitliche Kontrast bleibt weitgehend erhalten. Versuche haben gezeigt, daß eine spektrale und zeitliche Verschmierung die Sprachverständlichkeit und den Hörkomfort in Situationen mit kräftigen Hintergrundgeräuschen nur wenig beeinflußt. Dagegen hat die Länge der Zeitkonstanten einen wesentlichen Einfluß auf das Schallbild und den Komfort in Situationen mit moderaten oder nur geringen Hintergrundgeräuschen und in sogenannten ruhigen Umgebungen. Die relativ langsame Regelzeit trägt somit zur Transparenz und Deutlichkeit des SENSO-Schallbildes bei minimalem Hintergrundgeräusch wesentlich bei.

Eine andere Besonderheit des SENSO ist der Störschallunterdrückungs-Prozessor. Die Störschallunterdrückung des SENSO basiert auf einer Bestimmung von Sprach- und Störsignalen in jedem der drei Bänder. Ist kräftiger Störschall in einem Band vorhanden, so wird die Verstärkung im betreffenden Band reduziert. Ist in einem Band nur Sprache vorhanden, so ist die Geräuschreduzierung nicht aktiv. Viele SENSO-Träger berichten, daß sie mit diesem System zufrieden sind, und daß die Störschallunterdrückung es ihnen möglich macht,

sich in geräuschvollen Umgebungen aufzuhalten, ohne daß besondere Hörmüdigungsprobleme entstehen.

Gerade diese beiden Eigenschaften, die statistisch basierte Regelung und die Störschallunterdrückung, sind für die Schallwiedergabe des SENSO entscheidend. Obwohl diese beiden Funktionen von den Hörgeräte-Trägern sehr positiv aufgenommen worden sind, werden auch Nebeneffekte genannt, die nur in besonderen Geräuschsituationen auftreten. Dieser Artikel beschreibt, wie diese Nebenwirkungen zum Ausdruck kommen, und wie wir versucht haben, diese zu minimieren, ohne die Hauptfunktion zu verschlechtern.

## Sound Stabilizer™

Die automatische Regelung der Verstärkung in jedem der Bänder des SENSO basiert auf den statistischen Eigenschaften des Eingangssignals während der letzten 20-30 Sekunden. Die Länge des Analysefensters wurde in Versuchen festgelegt. Das lange Analysefenster bewirkt, daß, auch wenn das SENSO ein zeitlich variierendes Schallsignal wie z.B. ein Sprachsignal empfängt, sich die Verstärkung in den 3 Kanälen wenig als Folge des zeitlich unterschiedlichen Frequenzinhaltes der Sprachkomponente ändern wird. SENSO paßt sich so eher der Geräuschsituation als den einzelnen Sprachsignalen an. Wie

<sup>1</sup> SENSO referiert zur ursprünglichen SENSO-Version, auch die SENSO C-Serie genannt.

erwähnt bedeutet dies, daß SENSO in einer konstanten Geräuschsituation fast wie ein lineares Hörgerät arbeitet, an gerade diese Geräuschsituation angepaßt. Ändert sich die Situation, wird SENSO die Verstärkungscharakteristik an die neue Geräuschsituation anpassen, und danach wieder als ein lineares Hörgerät arbeiten. Wie früher bemerkt, erzielt man mit einer langen Regelzeit bei geringem Hintergrundgeräusch die besten Ergebnisse. Dies geht aus der Abbildungen 1-3 hervor.

Vergleicht man die Ausgangssignale der drei Hörgerätetypen in diesen Abbildungen, so ist deutlich zu erkennen, daß das Hintergrundgeräusch beim linearen Gerät mit dem niedrigsten Pegel wiedergegeben wird. Dies entspricht genau dem subjektiven Schallempfinden von normalhörenden Personen, bei dem Hintergrundgeräusche als wenig störend empfunden werden. Beim Gerät mit der langsamen AGC ist das Hintergrundgeräusch, bevor die Sprache einsetzt, relativ kräftig, aber kurze Zeit nach Beginn der Sprachsignale wird die Verstärkung so weit gesenkt, daß die Wiedergabe des Hintergrundgeräusches genau so niedrig ist, wie beim linearen Gerät. Auch in diesem Fall werden Hintergrundgeräusche als wenig störend empfunden. Beim Hörgerät mit der schnelleren AGC wird der Störschall mit einem relativ hohen Pegel wiedergegeben, sobald die Sprache nicht vorherrschend ist, d.h. in kurzen Sprechpausen. Subjektiv wird das Hintergrundgeräusch als mehr störend wahrgenommen als bei der linearen Verstärkung oder bei der langsamen Regelzeit.

Versuche in unserem Labor haben ergeben, daß die lineare Verstärkung und die langsame Regelzeit von den meisten Hörgeräteträgern vorgezogen wird. Diese Präferenz ist besonders in Situationen mit moderatem Hintergrundgeräusch deutlich. Untersuchungen von Neuman et al. (1998) zum Beispiel kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Sie ließen 20 Probanden mit einem sensori-

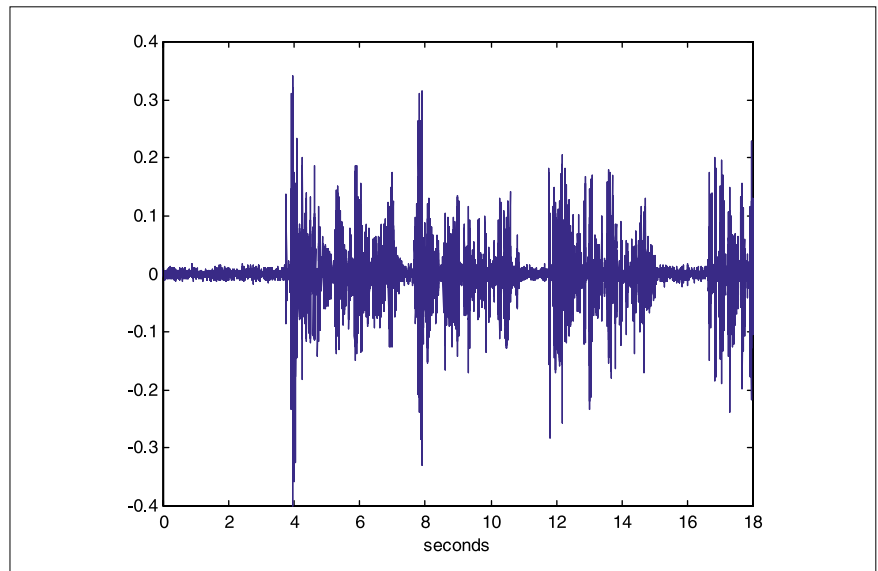


Abb. 1. Lineare Wiedergabe von Sprache bei schwachem Hintergrundgeräusch (SNR=20 dB).

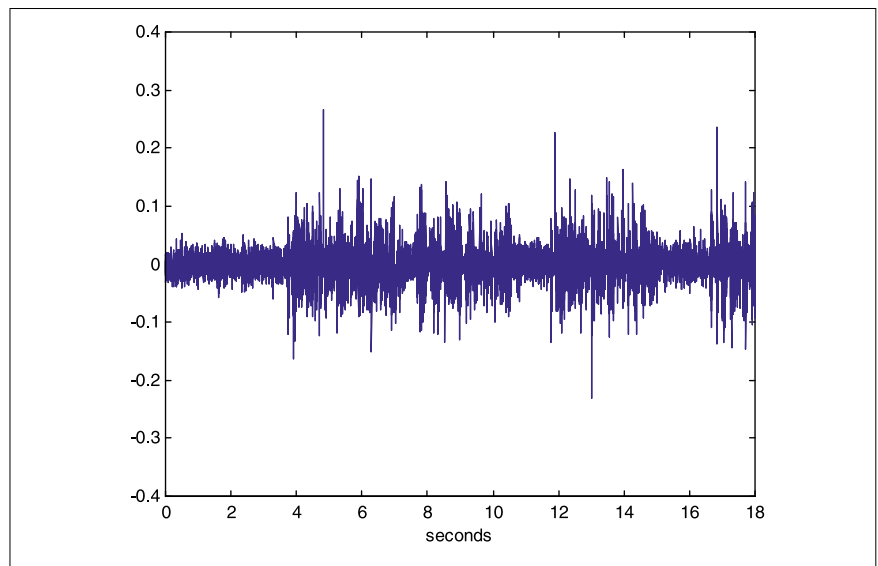


Abb. 2. Sprache bei schwachem Hintergrundgeräusch (wie Abb. 1) durch ein 3-Kanal-WDRC-Hörgerät mit einer Ausschwingzeit von 200 ms. CR=1:2.5 in allen Kanälen (CR=Compression Ratio).

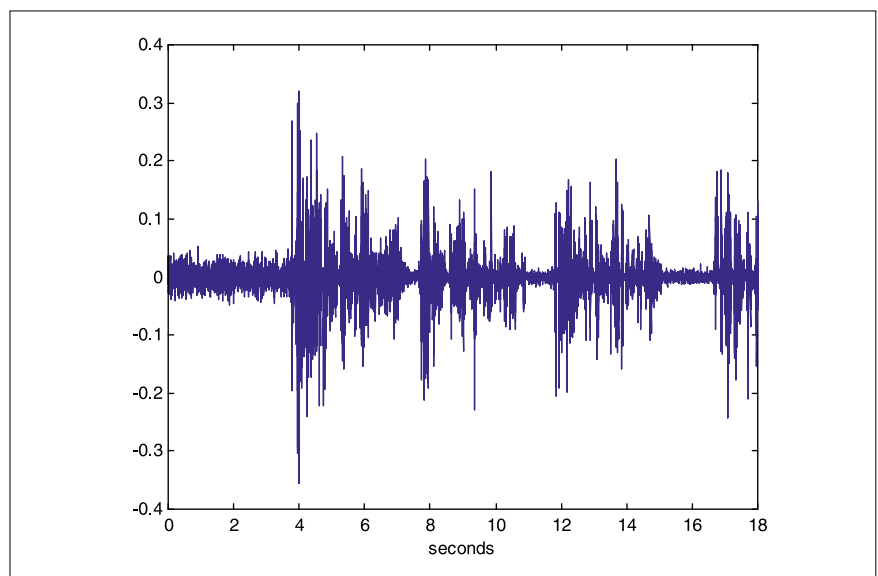


Abb. 3. Sprache bei schwachem Hintergrundgeräusch (wie Abb.1) durch ein 3-Kanal-WDRC-Hörgerät mit einer Ausschwingzeit von 10 Sekunden. CR=1:2.5 in allen Kanälen.

neuralen Hörverlust die Schallqualität eines Schallsignals, das sich aus Sprache und Störlärm zusammensetzt, beurteilen. Das Sprach- und Störsignal wurde in einem 1-Kanal-WDRC-Hörgerät (Wide Dynamic Range Compression) verarbeitet, in welchem das Kompressionsverhältnis und die Ausschwingzeit systematisch während des Versuches verändert wurden. Es stellte sich heraus, daß die Deutlichkeit (clarity), Annehmlichkeit (pleasantness) und die Gesamtbeurteilung (overall impression) um so höher beurteilt wurden, je länger die Ausschwingzeit war, und daß die Stärke des Hintergrundgeräusches nicht als schlechter beurteilt wurde. Diese Tendenz wurde mit größer werdendem Kompressionsverhältnis immer deutlicher. Das Schallbild wird somit deutlicher und angenehmer, wenn eine langsame Regelung benutzt wird, und gleichzeitig wird das Hintergrundgeräusch als nicht so kräftig empfunden.

### Nebeneffekte einer langsamen Regelzeit

Die langsame Regelzeit hat jedoch auch einige unerwünschte Nebeneffekte<sup>2</sup>, die in besonderen Situationen vom Träger als störend empfunden werden können. Eine solche Situation kann entstehen, wenn sich die Geräuschesituation plötzlich ändert. Es dauert dann einige Sekunden, ehe das Hörgerät sich auf die neue Situation eingestellt hat. Dies wird jedoch nur dann als störend empfunden, wenn der Schallpegel in den beiden Situationen sehr unterschiedlich ist, und auch nur, wenn der SENSO-Träger sich erst in einer Situation befindet, in dem der Schallpegel hoch ist und unmittelbar danach ein schwaches Schallsignal hören soll. Die umgekehrte Situation, in welcher der SENSO-Träger sich von einem ruhigen zu einem kräftigen Schallpegel hin bewegt, wird selten Probleme verursachen. Eine schwierige Situation kann aber z. B. entstehen,

<sup>2</sup> Bei weitem nicht alle Träger bemerken diese Nebeneffekte oder empfinden diese als störend.

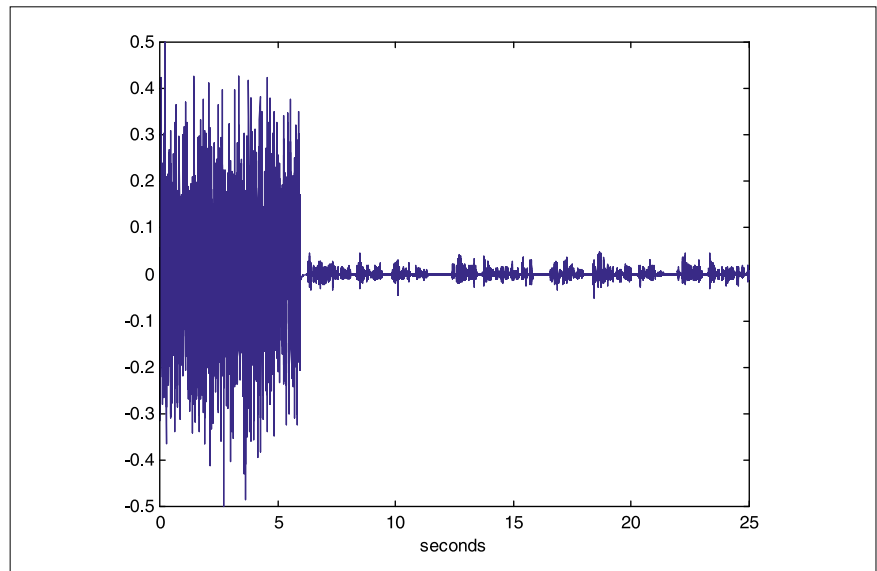


Abb. 4. Lineare Wiedergabe von kräftigem Partylärm, gefolgt von leisen Sprachsignalen.  $CR=1:1$ .

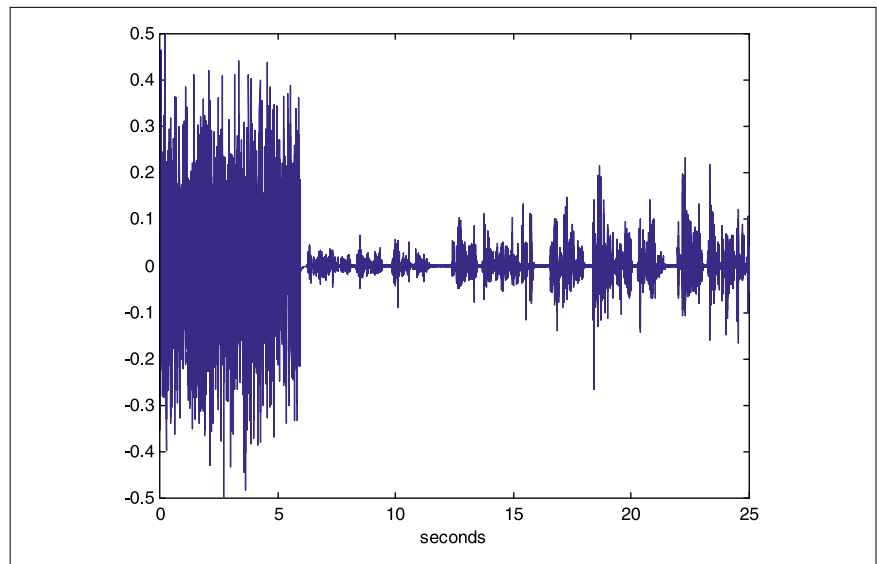


Abb. 5. Kräftiger Partylärm, gefolgt von leisen Sprachsignalen (wie Abb. 4) durch ein 3-Kanal-WDRC-Hörgerät mit einer Ausschwingzeit von 10 Sekunden.  $CR=1:2.5$  in allen Kanälen.

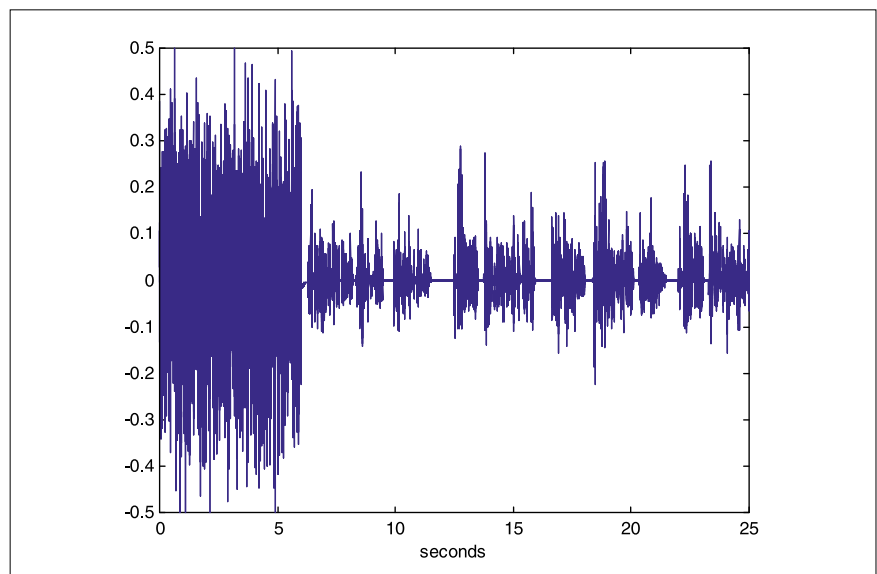


Abb. 6. Kräftiger Partylärm, gefolgt von leisen Sprachsignalen (wie Abb. 4) durch ein 3-Kanal-WDRC-Hörgerät mit Sound Stabilizer™.  $CR=1:2.5$  in allen Kanälen.

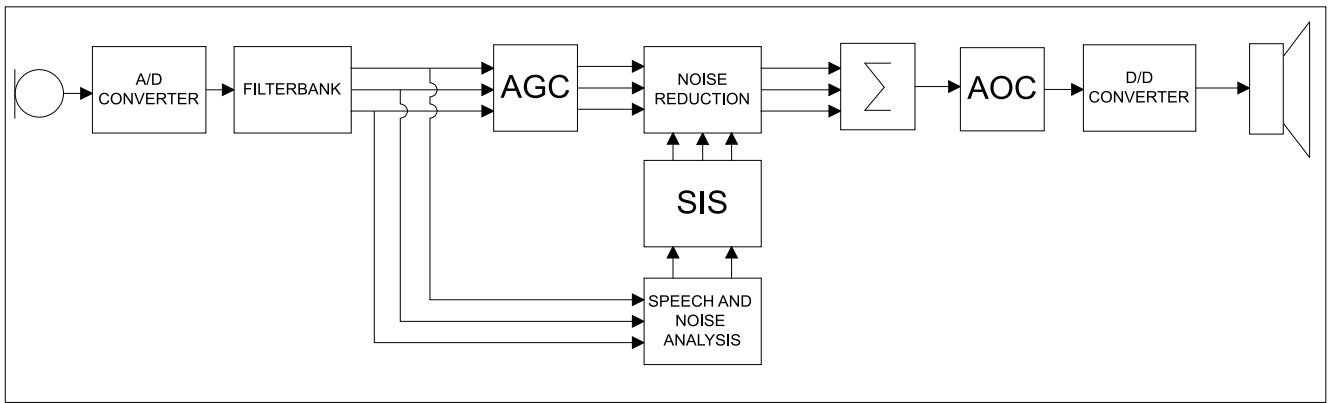


Abb. 7. Blockdiagramm. Das SIS-Prinzip.

wenn ein Redner, eine Frage aus dem Saal hören soll, nachdem unmittelbar vorher seine eigene Stimme die Verstärkung reduziert hat, oder wenn ein Schwerhöriger sich in einem Raum mit kräftigem Hintergrundgeräusch befindet, welches plötzlich aufhört. Ein Beispiel für eine solche Situation ist in Abb. 4 bis 6 dargestellt. Diese zeigen ein Schallsignal von 3 verschiedenen Hörgeräten, wenn der Eingangsschall sich plötzlich von Partylärm zu schwacher Sprache ohne Hintergrundgeräusch ändert. Mit dem linearen Gerät auf der Abb. 4 wird die Änderung im Eingangspegel nicht kompensiert. Wenn der Träger des linearen Hörgerätes die schwachen Sprachsignale hören möchte, muß er den Lautstärkesteller entsprechend regeln.

Abb. 5 zeigt, wie ein 3-Kanal-Hörgerät mit einer Ausschwingzeit von 10 Sekunden den Schall wiedergibt. Wie zu sehen ist, vergehen 5-10 Sekunden, ehe die Verstärkung des Gerätes sich der neuen Geräuschsituation angepaßt hat. Es können Situationen vorkommen, in denen dies kritisch wäre.

Das Problem könnte man leicht durch eine Verkürzung der Regelzeit lösen. Wegen der vielen negativen Eigenschaften, die mit einer schnellen Regelzeit verbunden sind, ist eine solche Lösung aber nicht sinnvoll. Um das Problem zu beseitigen, haben wir versucht, eine Prognose zu stellen, wann die Regelzeit ohne hörbare Nebenwirkungen verkürzt werden kann. Die Ergebnisse zeigten, daß eine schnelle Regelzeit ohne Probleme

dann benutzt werden kann, wenn das Eingangssignal eine derartige Stärke und Frequenzzusammensetzung besitzt, daß es die Verzerrung maskiert, die unvermeidbar mit einer schnellen Regelzeit verbunden ist. Die Verzerrung wird dann nicht hörbar. Aufgrund mehrerer Versuche mit schwerhörigen Probanden haben wir die Details einer schnellen Regelung so bestimmen können, daß keine Nebenwirkungen in Form von hörbaren Verzerrungen und Pumpereffekten vorkommen. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, daß die Regelzeit in gewissen Situationen ohne Probleme um einen Faktor 100 erhöht werden kann.

In vielen Situationen wird es nicht möglich sein, die Regelzeit zu verkürzen, ohne dabei negative Effekte auf den Hörkomfort hervorzurufen. Hier muß eine Abwägung zwischen der Regelzeit und dem Komfort stattfinden. Die Methode zur Optimierung der Regelzeit haben wir „Sound Stabilizer“ genannt, weil seine Funktion bewirkt, daß sogar bei kräftig variierenden Schallumgebungen keine „Lücken im Schallbild“ vorkommen.

Abb. 6 zeigt die Schallwiedergabe in der auf Abb. 4 dargestellten Situation, wobei das Gerät diesmal aber mit einem Sound Stabilizer™ versehen ist. Man sieht aus der Abbildung, daß praktisch keine „Schalllücken“ auftreten.

Man könnte sich hier vorstellen, daß sich der Schwerhörige aus einem Raum mit kräftigem Störlärm in einen Raum mit nur einem Sprecher und ohne Hinter-

grundgeräusch begibt. Im Raum mit viel Störlärm wird ein AGC-Gerät die Verstärkung wegen der kräftigen Hintergrundgeräusche reduzieren. Wenn die Hörsituation danach sehr günstig wird, kann es bei einem Hörgerät mit langsamer Regelzeit 5-10 Sekunden dauern, ehe sich das Hörgerät der neuen Situation angepaßt hat. Die Zeit, die vergeht, ehe sich das Gerät der neuen Situation angepaßt hat, kann von einem Gerätetyp zum anderen unterschiedlich sein. Dieses Phänomen ist in den Abbildungen 4-6 dargestellt. Der hier gezeigte große Pegelunterschied zwischen Störlärm und Sprache ist nicht typisch, ist aber gewählt worden, um deutlich darstellen zu können, wie die Verstärkung mit der Zeit variiert.

Um den Effekt des Sound Stabilizers™ zu messen, wurde in einer Untersuchung 11 SENSO<sup>+</sup>-Trägern ein vorgelesener Text dargeboten, der bei einem so schwachen Pegel präsentiert wurde, daß er eben noch verständlich war. Im Versuch wurde zunächst ein sehr kräftiges Störschallgeräusch präsentiert und dann (abrupt) abgeschaltet, wonach die Probanden darum gebeten wurden anzugeben, wann das schwache Sprachsignal wieder hörbar, und wann es wieder verständlich wurde. Der Versuch zeigte, daß beim Aktivieren des Sound Stabilizers™ die Sprache wesentlich früher nach Aufhören des Störschalls hörbar und verständlich wurde. Der Versuch bestätigt somit durch eine objektive Messung den Effekt, der in Abb. 6. dargestellt ist.

# Sprachintensivierung (Speech Intensification System™, SIS)

Das Geräuschunterdrückungs-/Sprachhervorhebungssystem des SENSO regelt die Verstärkung in jedem Kanal aufgrund einer statistischen Analyse des Signals. Zeigt die Analyse, daß in einem Frequenzbereich kräftiger Störschall vorkommt, wird die Verstärkung im betreffenden Band so abgestimmt, daß die Störgeräusche reduziert wiedergegeben werden. Ist nur Sprache vorhanden, so ist die Geräuschunterdrückung nicht aktiv. In beiden Situationen stellt SENSO C eine zufriedenstellende Schallwiedergabe sicher. In Situationen, in denen sowohl Sprache als auch Störgeräusch gleichzeitig vorkommen, haben unsere Versuche

gezeigt, daß wir eine noch bessere Sprachverständlichkeit durch eine Änderung des Frequenzgleichgewichts erzielen können, und zwar in der Weise, daß der mittlere Frequenzbereich relativ kräftiger betont wird. Gerade so arbeitet aber auch das SIS-System, indem es eine erneute Abwägung der Beiträge aus den verschiedenen Frequenzbereichen gegeneinander vornimmt.

Zu der Geräuschunterdrückungsschaltung sind zwei neue Blöcke hinzugefügt worden, nämlich der SIS-Block und ein Analyseblock zur Regelung des SIS-Blocks. Abb. 7 zeigt das SIS-Prinzip als Blockdiagramm. Im Analyseblock wird das Eingangssignal analysiert und die Geräuschsituation danach klassifiziert. Wenn die Analyse eine Geräuschsituation mit Sprache bei Hintergrundgeräusch zeigt, findet eine neue Abstimmung der Beiträge aus den

verschiedenen Frequenzbereichen statt. Diese Abstimmung/Gewichtung hat zum Ziel, die Sprachverständlichkeit zu optimieren, indem die Verstärkungen in den 3 Bändern so abgestimmt werden, daß die gegenseitige Maskierung zwischen den Bändern möglichst klein wird.

Abb. 8 zeigt, daß die Analysefunktion aus einer separaten Sprach- und Geräuschanalyse zusammengesetzt ist, welche dazu benutzt wird, die gegenseitige Maskierung zwischen den Bändern zu minimieren. In einer typischen Geräuschsituation, in denen überwiegend tieffrequente Hintergrundgeräusche vorherrschen, ist das Ergebnis der SIS-Gewichtung eine relativ größere Verstärkung des Mittelfrequenzbereiches im Verhältnis zum Tieffrequenzbereich. Die SIS-Gewichtung berücksichtigt somit die gegenseitigen Maskierungsverhältnisse zwischen den Frequenzkomponenten und wird den meisten Personen eine bessere Sprachverständlichkeit bei Hintergrundgeräusch sichern.

Um feststellen zu können, ob SIS den gewünschten Effekt hat, nahmen 11 SENSO<sup>+</sup>-Träger an einer Untersuchung teil, bei der die Sprachverständlichkeit bei Hintergrundgeräusch gemessen wurde. Als Sprachmaterial wurden Einsilber bei zwei verschiedenen Arten von Hintergrundgeräusch aus der Widex-CD, Partygeräusch (Party #2) und Autoeräusch (In a car), benutzt. Die Ergebnisse werden in Abb. 9 dargestellt. Generell wird mit dem SIS-System eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit in beiden Arten von Hintergrundgeräusch erzielt. Bei Autoeräusch ist die durchschnittliche Verbesserung etwas besser als bei Partygeräusch. Dies beruht wahrscheinlich darauf, daß dieser Geräuschtyp einen relativ großen Energieinhalt bei tiefen Frequenzen hat, und daß deshalb eine bedeutende Aufwärtsmaskierung vorhanden ist. SIS wird deshalb mit großer Wahrscheinlichkeit den negativen Effekt der Maskierung reduzieren können, und somit die Sprachverständlichkeit verbessern.

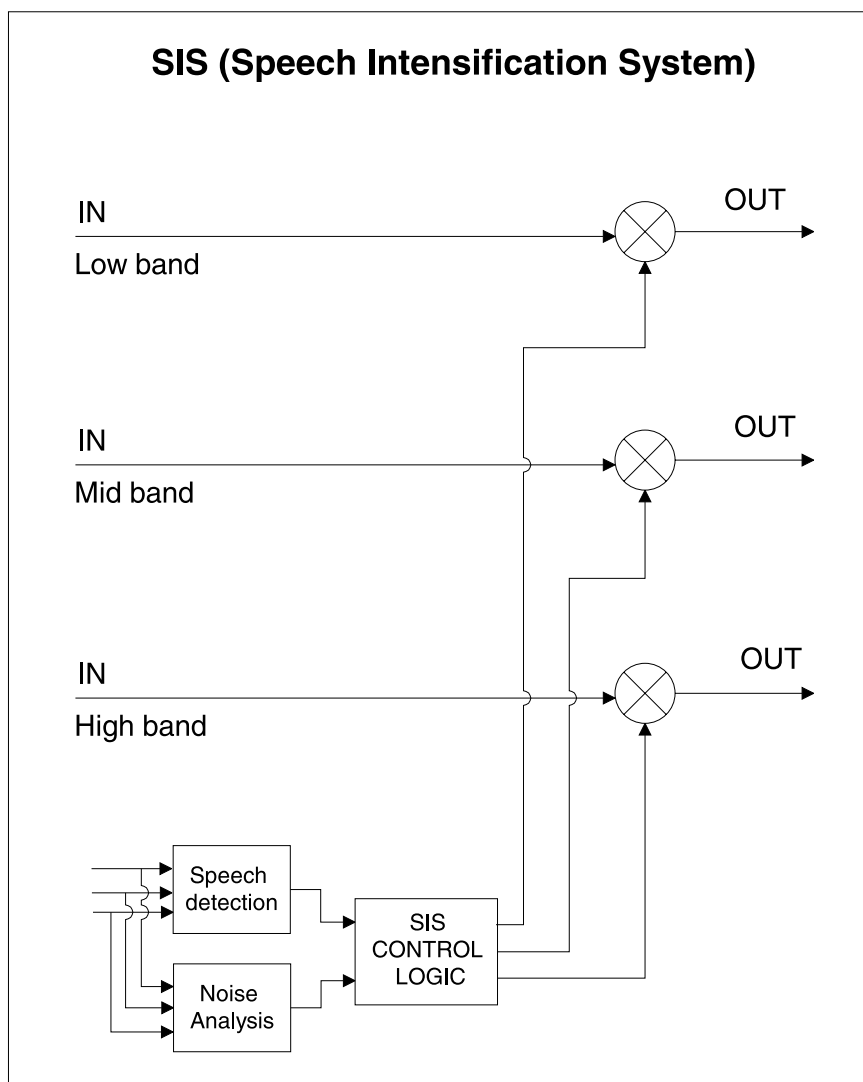


Abb. 8. Blockdiagramm der SIS-Funktion im Detail.

## Schlußfolgerung

Sowohl der Sound Stabilizer™ als auch SIS™ sind Funktionen, die nur in besonderen Situationen aktiv werden. Das bedeutet, daß der SENSO<sup>+</sup>-Träger oft keinen Unterschied zu bisher bemerken wird, bis die Person sich in einer Situation befindet, in der eine oder beide Funktionen aktiviert sind. Trotzdem ist es klar ersichtlich, daß sowohl der Sound Stabilizer™ als auch SIS™ in gerade solchen Situationen eine wesentliche Verbesserung bedeuten. Es soll noch angemerkt werden, daß einige wenige Probanden, die in geräuschvollen Umgebungen arbeiten, sich negativ über eine oder beide Funktionen äußerten. Deshalb haben wir die Möglichkeit geschaffen, die Sound Stabilizer™, sowie auch die SIS™-Funktion abzuschalten. Basierend auf den Erfahrungen von Feldversuchen ist dies aber nur in den Fällen relevant, in denen einzelne frühere SENSO C-Träger das Schallbild vorziehen, das sie bisher gewohnt waren.

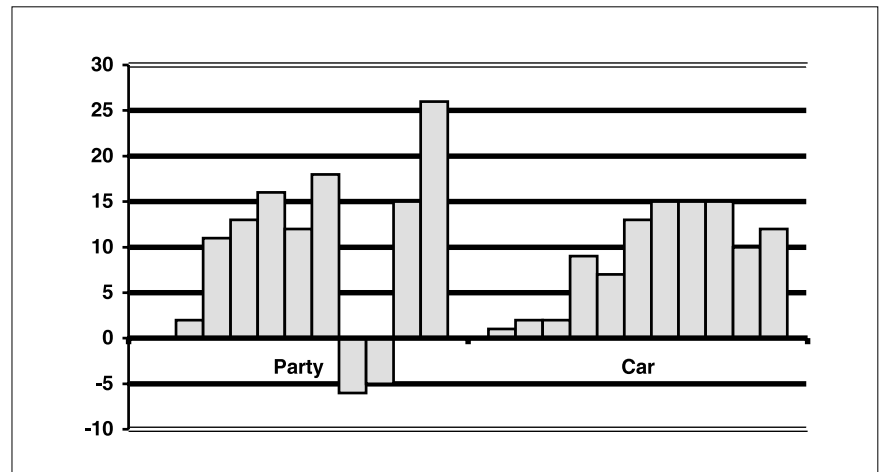


Abb. 9. Unterschied in der Sprachverständlichkeit bei jeder der 11 Personen (Prozent), gemessen mit und ohne SIS in zwei Arten von Hintergrundgeräusch. Positive Werte bedeuten, daß das Ergebnis mit SIS am besten ist.

## Übersicht über Widexpress:

Widexpress 1:  
Kompression in Hörgeräten

Widexpress 2:  
Signalverarbeitung und optimale Sprachverständlichkeit

Widexpress 3:  
Anpassung von multiprogrammierbaren Hörgeräten unter  
Berücksichtigung der Sprachhörbarkeit und Stabilität des Hörgerätes:  
Die SAS Anpaßregel

Widexpress 4:  
Bestimmung der Verbraucherzufriedenheit mit programmierbaren Geräten

Widexpress 5:  
Eine klinische Beurteilung des LOGO-Konzeptes

Widexpress 6:  
Verwendung von Mehrprogrammhörgeräten bei schweren bis schwersten Hörverlusten

Widexpress 7:  
Ergebnisse des SENSO-Feldtests by Widex

Widexpress 8:  
SENSO: Audiologischer Hintergrund

Widexpress 9:  
Bewertung des SENSO C9 mit Richtmikrofon

Widexpress 10:  
Hörgeräte und Interferenz durch Mobilfunk

Widexpress 11:  
Eine auf Daten über die Real-Ear-Schwelle basierende  
Anpassung von Hörgeräten mit Wide Dynamic Range Compression:  
Eine neue Strategie

Widexpress 12:  
Technische Verbesserungen zur Leistungssteigerung der CIC-Im-Kanal-Hörgeräten

Widexpress 13:  
Die binaurale Anpassung von Hörgeräten

Widexpress 14:  
Protokoll für das Anpassen eines DSP-Gerätes an Kinder

---

## Referenzen

Neuman, A.C., Bakke, M.H., Mackersie, C.,  
Hellman, S., and Levitt, H. (1998). "The ef-  
fect of compression ratio and release time  
on the categorical rating of sound quality".  
*J. Acoust. Soc. Am.*, 103, 2273-81.

