

# Supero™ – digitale Multi- Signalverarbeitung

und MPO-Formung

## Zusammenfassung

Die Versorgung von hochgradig Schwerhörenden stellt enorme Anforderungen an Hörsysteme. Die geringe verbleibende Dynamik muss optimal genutzt werden. Zudem sind die individuellen Unterschiede bezüglich der optimalen Verstärkungsstrategie bei hochgradig Schwerhörenden besonders stark ausgeprägt. Diesen Unterschieden muss das Hörsystem gerecht werden. Gleichzeitig muss ein flexibel einstellbarer Schutz vor zu lauten Pegeln vorhanden sein, welcher der Unbehaglichkeitsschwelle exakt folgt.

Supero erfüllt diese Anforderungen durch die digitale Multi-Signalverarbeitung und eine effektive und frequenzabhängig einstellbare Begrenzung des Ausgangspegels.



+



+



+



=



Im Gegensatz zu reinen Schalleitungsschwerhörigkeiten sind Schallempfindungsschwerhörigkeiten gekennzeichnet durch eine eingeschränkte Restdynamik. Obwohl die Hörschwelle angehoben ist, steigt die Unbehaglichkeitsgrenze typischerweise kaum an. Je ausgeprägter die Hörstörung, desto enger ist der verbleibende Dynamikbereich, den der Schwerhörende nutzen kann. Mit zunehmendem Hörverlust steigen auch die Anforderungen an das Hörgerät. Es muss den Eingangsschall in den schmalen verfügbaren Restdynamikbereich verstärken, um dem Schwerhörenden ein ausreichendes Sprachverstehen zu ermöglichen. Neben der notwendigen Verstärkung des Schalls in den hörbaren Bereich kommt es dabei auf eine effektive Begrenzung des Ausgangsschalldrucks an, um das Auftreten unangenehm lauter oder gar schmerzhafter Pegel zu verhindern. Hörsysteme, die den Eingangsschall über einen großen Pegelbereich hinweg komprimieren (Wide Dynamic Range Compression – WDRC) zielen darauf ab, den großen Dynamikbereich unserer akustischen Umgebung in das schmale nutzbare «Dynamikfenster» des Schwerhörenden abzubilden. Sehr leise Eingangssignale werden deutlich verstärkt und damit hörbar

gemacht, während laute Schalle kaum verstärkt werden, damit sie nicht zu laut werden.

Im Gegensatz dazu stehen lineare Hörgeräte, die den Eingangsschall unabhängig vom Pegel verstärken. Das Abschneiden von Pegelspitzen («Peak-Clipping») verhindert zu große Schalldrücke am Trommelfell, erzeugt aber Verzerrungen im Ausgangssignal.

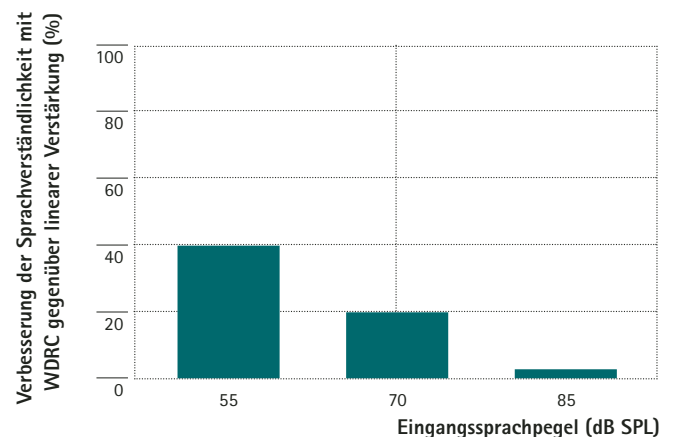
Einen Kompromiss zwischen linearen und WDRC Hörgeräten stellen Systeme dar, die in einem weiten Dynamikbereich linear arbeiten, ab einem bestimmten Pegel aufwärts jedoch komprimieren («Super Compression» – SC).

Welche dieser Verarbeitungsstrategien für hochgradig Schwerhörende optimal ist, lässt sich nicht pauschal beantworten.

Sicher ist, dass eine Kompression insbesondere das Sprachverstehen bei leisen Eingangspegeln unterstützt. Souza und Bishop (1999) untersuchten das Sprachverstehen bei 55, 70 und 85 dB mit linearer und kompressiver Verstärkung. Dadurch, dass die Kompression leise Sprachanteile besonders stark anhebt und in den hörbaren Bereich verstärkt, konnten die Versuchsteilnehmer insbesondere bei 55 dB deutlich profitieren. Aber auch bei 70 dB zeigten sich noch klare Vorteile durch Kompression.

**Abbildung 1**

Hochgradig Schwerhörende profitieren hauptsächlich bei niedrigen Eingangspegeln von einer kompressiven Verstärkung (aus: Souza und Bishop, 1999).



Andere Forschungsgruppen fanden ganz ähnliche Resultate (z.B. Ringdahl et al., 1999, Marriage und Moore, 2000).

Studien mit hochgradig Schwerhörenden haben zudem gezeigt, dass eine kompressive Verstärkung in vielen Situationen auch subjektiv gegenüber einer linearen Verarbeitung bevorzugt wird. Mit ansteigendem Hörverlust ist allerdings eine zunehmende Bevorzugung von linearer Verstärkung zu beobachten (Baker et al., 2001). Ein Grund dafür ist die oft langjährige Gewöhnung an die eigenen Hörgeräte, da hochgradige Hörverluste in den meisten Fällen traditionell mit linearen Hörgeräten versorgt wurden. Dadurch kann ein Wechsel zu einer kompressiven Verstärkung deutlich erschwert werden, auch wenn dieser vielleicht mit Vorteilen verbunden wäre. Zudem wird sich der volle positive Effekt einer neuen Verstärkungsstrategie in vielen Fällen nicht sofort einstellen, sondern erst nach einer unter Umständen monatelangen Eingewöhnungsphase (Arlinger et al., 1996). Gleichzeitig nehmen die individuellen Unterschiede zwischen Versuchspersonen mit dem Hörverlust zu (z.B. Faulkner et al., 1991).

Je hochgradiger der Hörverlust, desto flexibler und individueller muss die Versorgung erfolgen. Entsprechend muss das Hörsystem dem Akustiker eine breite Palette von Möglichkeiten bieten, um eine optimale Anpassung zu ermöglichen.

### Individuell angepasste Verstärkungsstrategie

Supero erfüllt die Anforderungen einer «maßgeschneiderten» Verstärkung. Über die fünf getrennt einstellbaren Frequenzkanäle hinaus ermöglicht Supero ein hohes Maß an Anpassflexibilität. Mit dem Konzept der digitalen Multi-Signalverarbeitungs-Strategien (dMSP) stehen drei verschiedene Verstärkungsregelungen zur Auswahl:

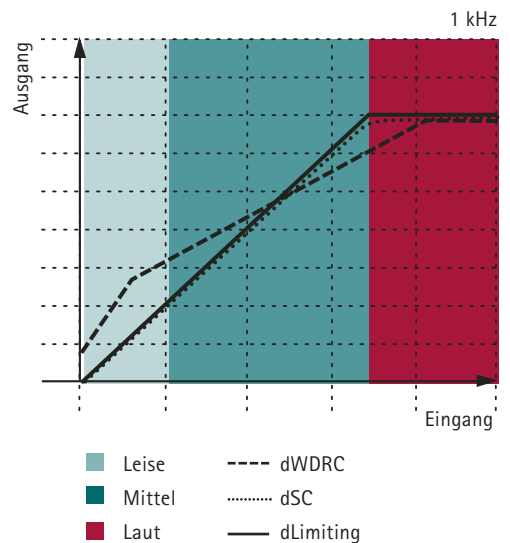
Abbildung 2

Manuelle dMSP Auswahl in der Software.



Abbildung 3

Eingang-/Ausgangskennlinien der drei dMSP Strategien.



### 1. dWDRC

In allen 5 Frequenzbändern wird unabhängig voneinander eine Dynamikkompression durchgeführt. Der Kompressionsfaktor von 1:1 bis 10:1 wird abhängig vom Hörverlust berechnet. Der Kompressionskniepunkt liegt (abhängig vom Frequenzband) bei 40–50 dB. Dieser verschiebt sich nach oben, falls die Verstärkung durch Rückkopplungen limitiert werden muss (Abbildung 4).

### 2. dSC

Hier wird das Eingangssignal in allen 5 Frequenzbändern bis zum Kompressionskniepunkt linear verstärkt.

### 3. dLimiting

Lineare Verstärkung in allen 5 Frequenzbändern.

Alle drei Signalverarbeitungsstrategien begrenzen den Ausgangsschalldruck mit einer Kompressionslimitierung. Die Zeitkonstanten sind der Strategie entsprechend angepasst.

In Abhängigkeit vom Hörverlust wird für Supero eine dMSP Strategie vorgewählt, welche vom Hörgeräteakustiker im Basisprogramm und im eigenen Programm überschrieben werden kann.

Folgende Kriterien gelten für die Auswahl der dMSP Strategie:

- dLimiting: durchschnittlicher Hörverlust bei 0,5, 1, 2 und 3 kHz  $\geq$  80 dB oder in wenigstens 2 der 4 Frequenzen 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz und 2 kHz  $>$  90 dB
- dSC: durchschnittlicher Hörverlust bei 0,5, 1, 2 und 3 kHz  $\geq$  70 dB
- dWDRC: wenn dLimiting bzw. dSC – Kriterien noch nicht erfüllt sind
- Bei binauraler Versorgung und asymmetrischem Hörverlust «gewinnt» die Strategie des leichteren Hörverlustes.

Grundsätzlich gilt also: Je stärker der Hörverlust, desto linearer wird die Verstärkung.

Damit wird der Erfahrung Rechnung getragen, dass hochgradige bzw. an Resthörigkeit grenzende Hörverluste eher mit linearen Hörgeräten versorgt sind. Eine langjährige Gewöhnung an lineare Verstärkung macht eine Umgewöhnung an kompressive Verstärkung schwierig. Dennoch sind die individuellen Unterschiede bei dieser Gruppe von Schwerhörigen groß. Die flexible dMSP Strategie erlaubt dem Akustiker die größtmögliche Freiheit bei der Anpassung, um eine individuell optimale Versorgung zu erzielen.

Abbildung 4

Die Kompressionscharakteristik in jedem der fünf Frequenzkanäle passt sich der individuellen Rückkopplungskennlinie an.

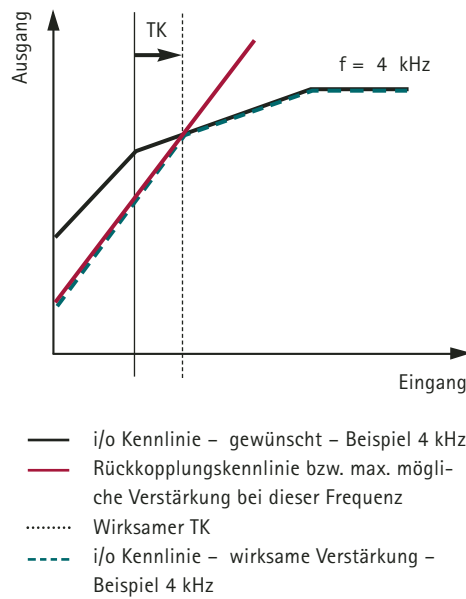
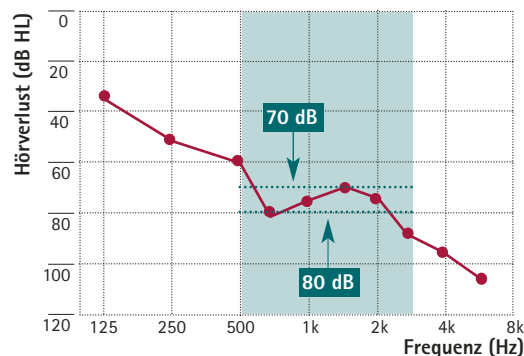


Abbildung 5

In diesem Audiogramm liegt die mittlere Hörschwelle zwischen 0,5 und 3 kHz zwischen 70 und 80 dB. Entsprechend wird dSC als Verarbeitungsstrategie voreingestellt.



## Individuelle MPO-Formung

Gerade bei hochgradigen Hörverlusten ist die effektive Nutzung der noch verfügbaren Hörreserven von großer Bedeutung. Bei einer frequenzunabhängigen, breitbandigen Vorberechnung und Einstellbarkeit des MPOs würden wertvolle Hörpotenziale «verschenkt». Kann der MPO lediglich breitbandig eingestellt werden, muss er so weit abgesenkt werden, bis an keiner Stelle des gesamten Frequenzspektrums mehr die Unbehaglichkeitsschwelle überschritten wird (Abb. 6 links). Dies führt fast zwangsläufig dazu, dass in gewissen Frequenzbereichen wertvolle Hörpotenziale ungenutzt bleiben. Hier wird der Ausgangspegel stärker eingeschränkt als notwendig. Daher ist zur optimalen Nutzung der Restdynamik eine individuelle, frequenzspezifische Einstellung des maximalen Ausgangsschalldrucks (MPO) erforderlich. Falls nicht gesondert eingegeben, berechnet die Anpasssoftware PFG die Unbehaglichkeitsschwelle anhand des Audiogramms. Daraus ergeben sich die frequenzspezifischen MPOs in den fünf Kanälen von Supero. Der Hörgeräteakustiker hat zusätzlich die Möglichkeit, im Rahmen der Feinanpassung den MPO in allen fünf Kanälen individuell einzustellen und somit optimal an die individuellen Bedürfnisse seiner Kunden anzupassen.

## Begrenzung des Ausgangspegels

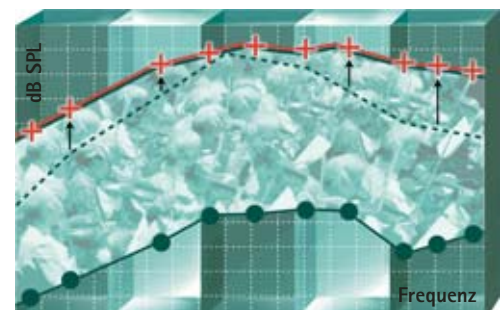
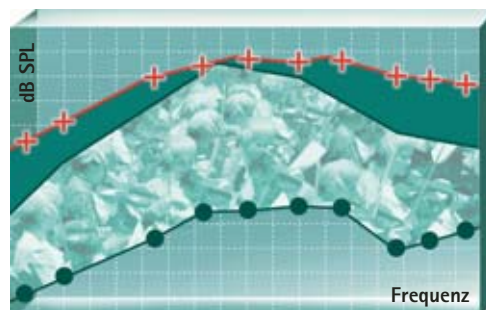
Durch die hohen Verstärkungen bei gleichzeitig geringer Restdynamik ist für hochgradig Schwerhörige ein wirksamer Schutz vor unangenehmen oder gar schmerzhaften Ausgangspegeln sehr wichtig. In Supero sorgt eine dreistufige Pegelsteuerung für diesen Schutz, ohne dabei die Hörbarkeit und den Komfort zu beeinträchtigen. In der ersten Stufe (leise bis laute Eingangspegel) wird der Schall linear verstärkt (dLimiting und teilweise dSC) bzw. komprimiert (dWDRC). Sobald in einem Frequenzband der individuell eingestellte MPO erreicht wird, setzt die zweite Stufe ein. Hier wirkt eine sehr schnelle bandspezifische Kompressions-Limitierung lauter bis sehr lauter Signale, um den Komfort in lauten Situationen zu gewährleisten. Zusätzlich wird der breitbandige MPO geschätzt und sichergestellt, dass auch hier die Unbehaglichkeitsschwelle nicht überschritten wird.

Als dritte Stufe wirkt eine sofortige breitbandige Ausgangsbegrenzung als Schutz vor plötzlich auftretenden Signalspitzen. Dieses System entspricht einem Peak Clipping (Abschneiden der Amplitudenspitzen, welche eine bestimmte Grenze überschreiten). Der breitbandige Clipper ist ab einem Pegel von 10 dB oberhalb des breitbandigen MPOs solange aktiv, bis der Kompressions-Limiter die Kontrolle übernommen hat. Durch Superos Strategie zur Begrenzung des Ausgangspegels bleiben Hörbarkeit und Komfort erhalten, gleichzeitig besteht aber ein wirksamer und individueller Schutz vor zu lauten Pegeln.

**Abbildung 6**

Ohne einen frequenzabhängig einstellbaren MPO werden verbleibende Hörpotenziale «verschenkt» (links). Mit einem frequenzabhängig einstellbaren MPO wird die gesamte verbleibende Restdynamik ausgenutzt (rechts).

- Hörschwelle
- + + + + Unbehaglichkeitsschwelle
- Max. Ausgangsschalldruck (MPO)



# Supero™ – digitale Multi-Signalverarbeitung und MPO-Formung

## Bibliographie

Arlinger, S., et al. (1996). Report of the Eriksholm Workshop on Auditory Deprivation and Acclimatization. *Ear and Hearing* 17(3), 875–985.

Barker, C., Dillion, H. und Newall, P. (2001). Fitting low ratio compression to people with severe and profound hearing loss. *Ear and Hearing* 22, 130–141.

Faulkner, A., Ball, V., Rosen, S., Moore, B.C. und Fourcin, A. (1992). Speech pattern hearing aids for the profoundly hearing impaired: Speech perception and auditory abilities. *Journal of the Acoustical Society of America* 91, 2136–2155.

Marriage, J.E., und Moore, B.C.J. (2001). New speech tests reveal benefit of wide dynamic range fast-acting compression for consonant discrimination in children with moderate to profound hearing loss. "A Sound Foundation Through Early Amplification International Conference", Chicago.

Ringdahl, A., Edberg, P., Thelin, L. und Magnussen, L. (2000). Clinical evaluation of a digital power instrument. *The Hearing Review*, March Issue, 59–64.

Souza, P.E., und Bishop, R.D. (1999). Improving speech audibility with wide dynamic range compression in listeners with severe sensorineural loss. *Ear and Hearing* 20(6), 461–470.

