

## Die Technologie hinter dem weltweit führenden Soundfield-System

### Übersicht

1. Einführung	1
2. Dynamic Speech Extractor	2
3. Digitale, kabellose Übertragungstechnologie	4
4. Dynamic SoundField mit Dynamic FM verbinden	6
5. Lautsprecherdesign	7
6. Rückkoppelungsunterdrückung	9
7. MultiTalker Netzwerk	10
8. Energiesparendes Design	10
9. Upgrades	10
10. Neueste Testergebnisse: Formales Testen des Sprachverstehens im Lärm in Klassenzimmersituationen	11
11. Liste der Abkürzungen	12
12. Referenzen	12

### 1. Einführung

Dynamic SoundField ist Phonaks allererstes Soundfield System. Viele Kunden haben uns in der Vergangenheit gebeten, ein Soundfield-System zu entwickeln. Diesen Markt wollten wir aber erst betreten, wenn wir die Vorteile für Kunden signifikant verbessern konnten. Die Soundfield-Technologie sollte sich an Kinder, Lehrkräfte, Schuldirektoren und Schulaudiologen richten. Wir haben derzeitige Soundfield-Systeme untersucht, haben mit Fachkräften gesprochen, die Raumakustik detailliert untersucht, und dann erst hat eine große Gruppe von Ingenieuren und Audiologen bei Phonak Communications in Murten/Schweiz das heutige Dynamic SoundField-System entwickelt. Unser Team hatte ambitionierte Ziele: eine signifikante Verbesserung der Spracherkennung in Klassenzimmern gegenüber herkömmlichen Soundfield-Systemen; den Zeit- und Kostenaufwand für die Installation zu reduzieren; die komplexen Einstellungen für die Lehrkräfte zu minimieren; das Patchwork-Wirrwarr das entsteht, wenn ein Soundfield-System mit persönlichen FM Systemen kombiniert werden muss, zu eliminieren; ein System zu entwickeln, das komfortabel zu tragen, zu benutzen und zukunftssicher ist. Probleme, wie zum Beispiel Rückkoppelung, tote Winkel und eine nicht robusten Bauweise, wurden ebenfalls berücksichtigt. Phonak hat eine total neue, kabellose Übertragungstechnologie für Dynamic SoundField entwickelt. Dies ist der Schlüssel zu vielen der eingebauten, revolutionären Merkmale und Lösungen. In dieser Broschüre erläutern wir detailliert die Technologie, die hinter Dynamic SoundField steckt, und zeigen Ihnen einige Ergebnisse, von erst kürzlich durchgeführten formalen "Sprachtests im Lärm", auf.

**PHONAK**

life is on

## 2. Dynamic Speech Extractor

Eines der signifikantesten Merkmale von Dynamic SoundField ist sein dynamisches Verhalten. Die Aufgabe eines Soundfield-Systems ist es, die Spracherkennung im Klassenzimmer zu verbessern. Für optimales Hören, muss die Stimme der Lehrkraft klar verständlich sein. Empfangsstörungen machen das Verstehen oft schwierig und Lärm stellt das größte Problem überhaupt dar.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO), das American National Standards Institute (ANSI) und das Department for Education and Skills in London (DfES) haben Normen für den maximalen Pegel des Hintergrundgeräusches im Klassenzimmer erarbeitet. Diesen Normen wird in den seltensten Fällen entsprochen und diese Normen gelten nur für Klassenzimmer in denen sich niemand aufhält. Dies bedeutet, dass jedes zusätzlich von den Schülern im Klassenzimmer erzeugte Geräusch nicht von diesen Normen berücksichtigt wird. Es besagt jedoch nicht, dass dieser Lärm keinen Einfluss auf die Lernkonditionen im Klassenzimmer hat.

Ganz im Gegenteil, wenn ein Klassenzimmer erst einmal von Schülern belegt ist, können diese Normen für ein leeres Klassenzimmer nicht länger erfüllt werden. Die Lärmpegel im Klassenzimmer können hoch sein und sie variieren von Schule zu Schule, von einem Klassenzimmer zum nächsten. Das Wichtigste ist, dass Hintergrundgeräusche während eines typischen Schultages beträchtlich variieren. Ein Soundfield-System sollte deshalb beides bieten: eine gute Spracherkennung und eine komfortable Lautstärke der verstärkten Stimme der Lehrkraft. In leisen Situationen wird eine geringere Verstärkung benötigt. Im Lärm sollte die Verstärkung höher sein. Ein herkömmliches Verstärkersystem misst den Umgebungslärm nicht automatisch. Dies bedeutet, dass das Volumen eines Soundfield-Systems nur manchmal während des Tages korrekt sein kann. Manchmal wird die Verstärkung des Systems zu leise sein, und dadurch kommt es zu einem mangelnden Sprachverstehen der Schüler. In anderen Fällen ist sie zu hoch und erzeugt eine unbehagliche, verstärkte Sprache. Diese Unfähigkeit effektiv mit Lärm umzugehen, könnte dazu geführt haben, dass Fachkräfte sich in den vergangenen Jahren vorwiegend mit Nachhall beschäftigt haben und dessen Einfluss auf das Sprachverstehen im Klassenzimmer.

Obwohl ein Nachhall selbst einen negativen Einfluss auf das Sprachverstehen ausübt, ist in einem Klassenzimmer das Hintergrundgeräusch der dominante Faktor, der die Spracherkennung einschränkt. In Klassenzimmern kann die Nachhallzeit rund 1s betragen. Ein solcher Nachhall alleine, ohne Hintergrundgeräusch, stellt an sich keine schwierige Hörsituation dar. Dies besagt aber nicht, dass ein Nachhall nicht von Bedeutung ist. Er wird anders gewichtet, als viele Fachkräfte annehmen: den größten Einfluss eines Nachhalls im Klassenzimmer liegt darin, dass das Umgebungsgeräusch erhöht wird. Eine gute Raumakustik ist von großer Wichtigkeit, sie ist jedoch schwierig zu erreichen und sehr teuer. Um das Problem schwankender Hintergrundgeräusche in Klassenzimmern zu überwinden, ob diese nun durch einen Nachhall verschlimmert wurden oder nicht, hat Phonak einen intelligenten Lösungsweg gefunden.

Phonaks Dynamic SoundField-System überwacht kontinuierlich den Pegel des Hintergrundgeräusches im Klassenzimmer und passt seine Verstärkung dementsprechend automatisch an. Diese Kompensation des Umgebungsgeräusches wurde so eingestellt, um einen STI (Speech Transmission Index) von 0,6 bei unterschiedlichen Lärmpegeln zu produzieren. Dies garantiert ein exzellentes Verstehen der Stimme der Lehrkraft. Hier wird nun das Gleiche, sehr erfolgreiche und geprüfte Prinzip der Phonak Dynamic FM Technologie für Soundfield angewendet. Die Pegel der Umgebungsgeräusche werden mittels des Mikrofons des **inspiro** Sendermikrofons gemessen. **inspiro** ist Phonaks Dynamic SoundField-Sender.

In ruhigen Situationen, bei einem Lärmpegel unter 54 dB SPL im Klassenzimmer, liegt die Verstärkung des Volumens bei 6 dB ("Verstärkung" bezieht sich in diesem Fall auf eine Standard-Hörsituation in einem Standard-Klassenzimmer). Dies zielt auf einen Signal-Rausch-Abstand (SNR) von mindestens 12 dB ab. Bei niedrigeren Lärmpegeln ist der SNR höher. Zum Beispiel beträgt der SNR bei einem Lärmpegel von 44 dB SPL +20 dB. Das Sprachverstehen verschlechtert sich signifikant, wenn der SNR unter +10 dB fällt. Bei einem Lärmpegel von 54 bis 66 dB SPL im Klassenzimmer, wird die Verstärkung von Dynamic SoundField automatisch erhöht, um einen SNR von +10 dB aufrecht zu erhalten (Abb. 1 und 2). Dies ist wiederum für eine typische Klassenzimmersituation mit einer Nachhallzeit  $RT_{60}$  von 0,9 s gültig. Die maximale Verstärkung, die das System liefert, liegt bei 20 dB.

### DSF automatische Anpassung der Verstärkung

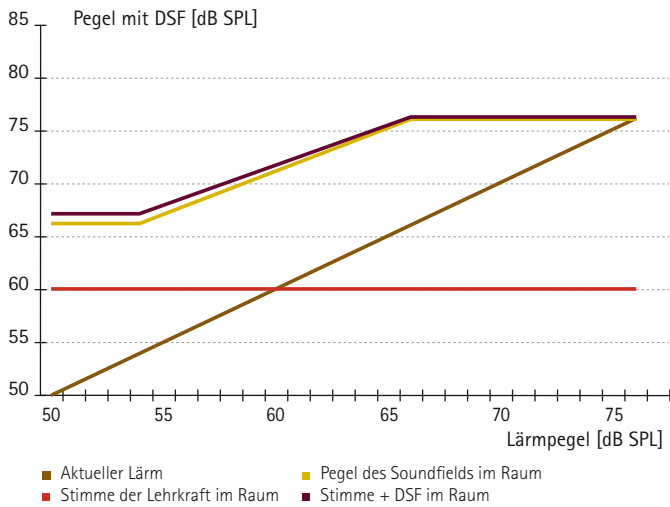


Abb. 1. Dynamisches Verhalten des Dynamic SoundField-Systems. Für Lärmpegel im Klassenzimmer über 54 dB SPL, wird die Verstärkung automatisch angehoben (gelbe Linie).

### SNC & SNR

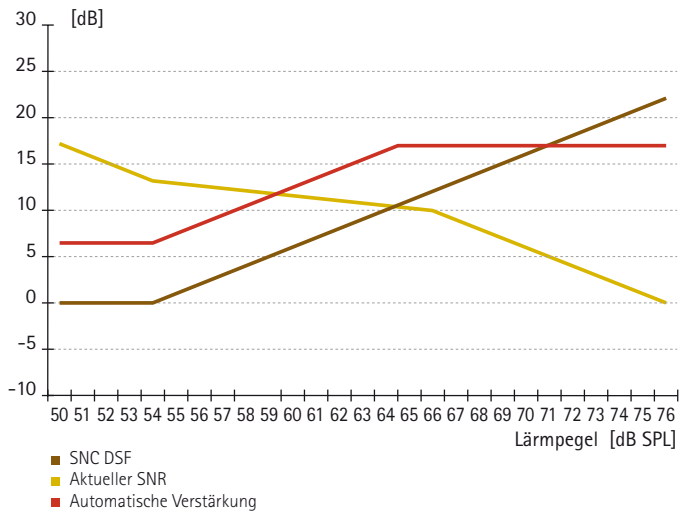


Abb. 2. Die automatische Kompensation des Umgebungsgerausches (SNC) (braune Linie) erhöht die Verstärkung bei zunehmendem Lärmpegel (rote Linie). Dies ergibt einen Signal-Rausch-Abstand (SNR) von gut über 10 dB bei einem Lärmpegel von bis zu 66 dB SPL des Umgebungsgerausches.

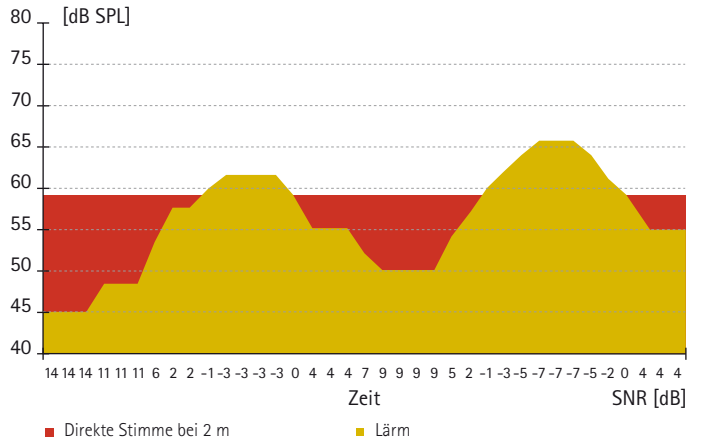


Abb. 3. Lärmpegel im Klassenzimmer variieren deutlich während des Tages, und in vielen Fällen werden die SNRs unter +10 dB oder niedriger liegen.

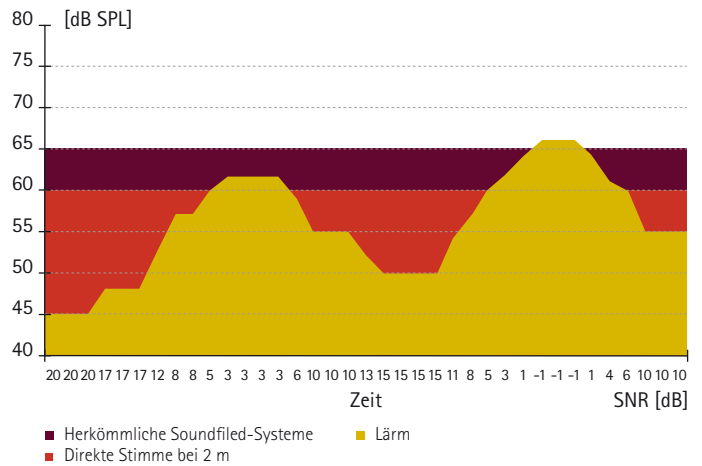


Abb. 4. Bei einem herkömmlichen Soundfield-System gibt es eine fixe Verstärkung. Diese passt sich nicht dem Umgebungsgerausches an. Daraus resultieren schlechte SNRs in lauten Umgebungen.

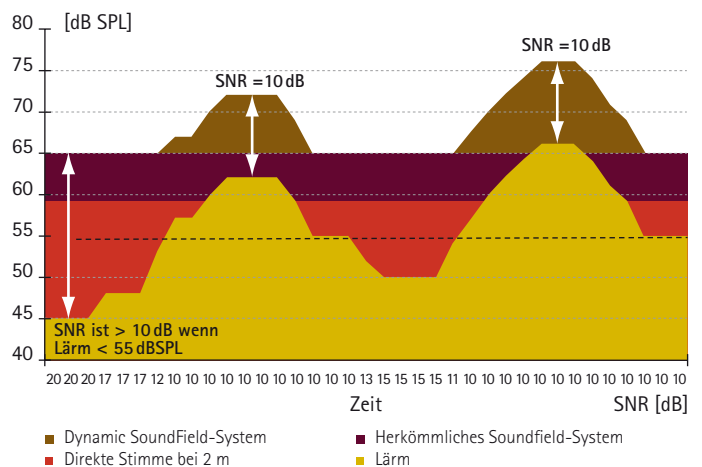


Abb. 5. Dynamic SoundField passt sich dem Umgebungslärm an. Dadurch werden optimale SNRs während des gesamten Schultages erreicht.

### 3. Digitale, kabellose Übertragungstechnologie

Das Umgebungsgeräusch und der Sprachpegel werden durch **inspiro** mit Zeitkonstanten von 5 s gemessen. Ein falsch platziertes Mikrofon, das mittels einer ungewöhnlich leisen Stimme am Mikrofon erkannt wird, wird automatisch durch eine extra Verstärkung im Dynamic SoundField-Lautsprecher kompensiert.

Parallel zum Dynamic Speech Extractor, wurde noch ein anderer Algorithmus hinzugefügt: der Dynamic Equalizer. Dieser Algorithmus formt den Frequenzgang, abhängig vom Lärmpegel im Klassenzimmer.

Grenzfrequenz des Dynamic Equalizers

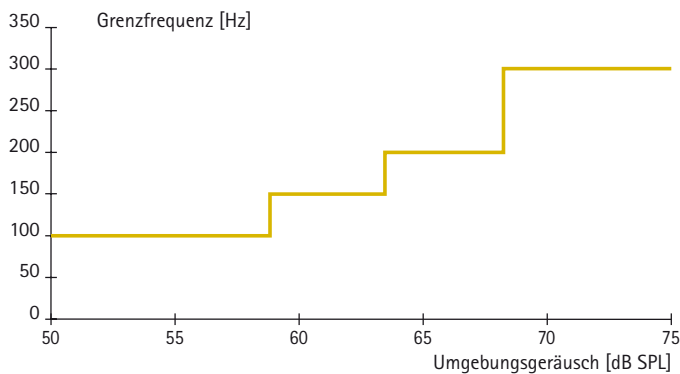


Figure 6. Die Grenzfrequenz des Dynamic Equalizers steigt mit zunehmendem Umgebungsgeräusch.

In Ruhe klingt das gesamte Signal mit einem flachen, kombinierten Frequenzgang, bestehend aus dem Lautsprechersignal und der direkten Stimme der Lehrkraft, vollkommen natürlich. Um späte Echos vom verstärkten Signal minimieren zu können, wurde ein Hochpassfilter, bei höherem Verstärkungspegel, hinzugefügt. Höhere Verstärkungspegel werden bei Lärm eingesetzt und Echos erhöhen Lärmpegel im Klassenzimmer. Dadurch ergibt die Einschränkung später Echos durch akustisches Filtern, bei höheren Verstärkungspegel, durchaus Sinn.

Die exakte Grenzfrequenz des Hochpassfilters hängt vom Umgebungsgeräusch ab. Für höhere Lärmpegel wird die abgeschnittene Frequenz von 100 Hz auf 300 Hz, in zwei Zwischenschritten, erhöht. Dadurch wird nicht nur das Echo limitiert, sondern der Schwerpunkt wird auf höhere für besseres Sprachverstehen gelenkt. Dies geschieht Dank der erhöhten Hörbarkeit der Konsonanten bei mittleren und höheren Frequenzen, und Dank der Einschränkung der Maskierung von hohen Frequenzen durch tiefere Töne. Die Eliminierung später Echos, die psycho-akustisch wie Lärm wahrgenommen werden, verbessert das Sprachverstehen. Das intelligente Design der Lautsprechereinheit (siehe Abschnitt 5) limitiert ebenfalls späte Echos und ist komplementär zum Filtereffekt.

Herkömmliche Soundfield-Systeme benutzen unterschiedliche Übertragungstechnologien, um die Stimme der Lehrkraft zum Lautsprecher zu senden. Es sind verkabelte und kabellose Technologien erhältlich. Verkabelte Lösungen verringern die Mobilität der Lehrkraft, und in modernen Zeiten stellen schulische Einrichtungen wie diese keine zeitgemäße Lösung mehr dar. Kabellose Technologien basieren entweder auf der Infrarot-Übertragung oder der FM Technologie. Beide kabellosen Technologien können Klänge entweder auf analogem oder digitalem Weg senden. Die Wahl der Übertragungstechnologie in der Entwicklung eines neuen Soundfield-Systems hat einen enormen Einfluss auf mehrere sehr wichtige Merkmale des endgültigen Produkts:

- Wie groß ist der Empfangsbereich eines Senders?
- Ist eine freie Sichtlinie zwischen Sender und Empfänger notwendig?
- Wie viel Energie verbraucht ein Sender, und wie groß ist die Batteriekapazität einer voll aufgeladenen Senderbatterie?
- Wie groß ist die Audiobandbreite?
- Wie hoch ist das Systemrauschen, und wie groß ist die Dynamik im Audio-Bereich?
- Sind tote Winkel im Klassenzimmer vorhanden, in denen der Sender den Lautsprecher nicht erreicht und das System deshalb die Stimme der Lehrkraft nicht verstärken kann?
- Können Empfangsstörungen von ähnlichen Geräten, die in der Nähe stehen oder von anderen Geräten, wie einem WiFi-System, Leuchtstoffröhren, Bluetooth-Geräten, oder von Sonneneinstrahlungen (dies ist oft bei Infrarot-Systemen der Fall), auftreten?
- Besteht die Möglichkeit zu senden und zu empfangen oder nur zu senden?
- Besteht die Möglichkeit auch andere Daten, wie Kontrolldaten, parallel zum Audiostreaming zu senden und zu empfangen?
- Besteht die Möglichkeit ein Soundfield-System mit einem FM System zu verbinden?
- Werden zusätzliche Geräte, wie zum Beispiel Reflektoren benötigt, um alle Ecken eines Klassenzimmers zu erreichen?
- Wie viele Kanäle können gleichzeitig ohne Empfangsstörungen benutzt werden?
- Wie schwierig und flexibel ist die Planung der Frequenzkanäle?

Nach sorgsamem und intensiven Analysen der derzeit erhältlichen Technologien, entschied Phonak, dass keine dieser Technologien die geforderten Ziele erreichen. Unter idealen Konditionen können alle Technologien ein Sprachsignal zum Lautsprecher senden, aber mit diesen Systemen ist nicht viel anderes möglich. In schwierigen Situationen treten häufig Empfangsstörungen oder tote Winkel auf. Fortschrittliche und intelligentere Merkmale, um die Leistung des Systems zu verbessern, sind augenscheinlich mit den heutigen Übertragungsoptionen nicht möglich. Für Dynamic SoundField hat Phonak deswegen "DM" entwickelt. Eine total neue, digitale, kabellose Übertragungstechnologie.

DM steht für Digitale Modulation. Es ist eine neu entwickelte, hochintelligente, digitale Übertragungstechnologie im 2,4 GHz Band. Audiosignale werden digitalisiert und in sehr kurzen (60 µs) digitalen Signalfolge-Codes gebündelt. Jedes Audiosignal wird mehrere Male auf verschiedenen Kanälen zwischen 2,4000 und 2,4835 GHz gesendet. Das Frequenzspringen zwischen den Kanälen verhindert jedes Problem von auftretenden Empfangsstörungen und die Wiederholung des Sendens garantiert einen korrekten Empfang. Wenn das System den eingegebenen Kanal als besetzt erkennt, zum Beispiel durch ein WLAN-Netzwerk oder Bluetooth, wird dies notiert und es wird automatisch um diese besetzten Kanäle herumgesprungen. Wenn trotz aller Anstrengungen, ein Audiopakete nicht korrekt empfangen wird, greifen intelligente Algorithmen ein, um die verlorenen Dateien zu codieren und aufzufüllen. Dadurch werden eine exzellente Klangqualität und ein exzellenter Hörkomfort gewährleistet.

Dank einer Audiofrequenz-Bandbreite von 200 bis 7500 Hz und einen Signal-Rausch-Abstand von > 55 dB, garantiert die DM-Technologie auch eine imposante Klangqualität. Anders als bei Systemen, die FM als Übertragungstechnologie benutzen, wird bei DM keine Frequenzplanung oder Frequenzzuordnung für spezifische Klassenzimmer benötigt.

Das 2,4 GHz Band ist ein weltweit frei zugängliches Band (ISM Band: Industry, Scientific and Medical), deshalb wird keine Lizenz benötigt. DM-Systeme können in angrenzenden Klassenzimmern problemlos benutzt werden und sind sehr robust gegen Empfangsstörungen, die von anderen Dynamic SoundField-Systemen, Bluetooth-Geräten, WLAN, Leuchtstoffröhren und anderen Einflüssen ausgehen. Dynamic SoundField benutzt ein intelligentes Antennendesign, um die optimale Betriebsreichweite zu garantieren, und tote Winkel gehören damit der Vergangenheit an. Natürlich wird keine Sichtlinie mehr benötigt wie bei vielen Infrarotsystemen, und Empfangsstörungen, die vom Sonnenlicht oder anderen starken Lichtquellen ausgehen, stellen ebenfalls kein Problem mehr dar.

Mit der DM-Technologie ist es nicht nur möglich, ein Audiosignal zu senden, sondern auch Kontrolldaten zu senden und zu empfangen. Diese werden zum Beispiel zur Einstellung und/oder zur Aufrechterhaltung eines MultiTalker Netzwerkes (siehe Abschnitt 7) benötigt. Dadurch werden unterschiedliche Netzwerk-Komponenten kontinuierlich überwacht und der korrekte Ablauf garantiert. Nachdem **inspiro** mit der DigiMaster- Lautsprechereinheit des Dynamic SoundFields gekoppelt wurde (einfach durchzuführen) bleiben die beiden Geräte, auch nach dem Ausschalten, miteinander verbunden.

DMs Energieverbrauch liegt in einem kostengünstigen Rahmen. Mit einer vollaufgeladene **inspiro** Batterie kann 7 bis 8 Stunden im dualen Dynamic SoundField- und Dynamic FM Modus gearbeitet werden. Lange genug, um einen vollen Schultag spielend abzudecken.

Die neue DM-Technologie von Phonak ist äußerlich nicht sofort erkennbar. Dennoch besteht kein Zweifel daran, dass Phonak mit DM die richtige Wahl getroffen hat und diese sich entscheidend auf den Erfolg von Dynamic SoundField auswirkt. Die DM-Technologie hat es dem Phonak Team ermöglicht, eine lange Liste neuer möglicher Merkmale auszuarbeiten, inklusive des Dynamic Speech Extractors, des MultiTalker Netzwerkes, des Monitorings, das Ende der Frequenzplanung und der Frequenzzuweisung für die Klassenzimmer. Aber das Wichtigste ist, dass die DM-Technologie die Basis für höchste Systemleistung liefert.

## 4. Dynamic SoundField mit Dynamic FM verbinden

Mehr und mehr schwerhörige Schüler mit einem Hörgerät oder einem Cochlea-Implantat besuchen Regelschulen. In diesen Schulen benötigen die Schüler oft ein kabelloses FM System, um die Stimme der Lehrkraft gut hören zu können. Deshalb werden immer mehr Soundfield-Systeme in Klassenzimmern für normal hörende Kinder installiert, während FM Systeme für ein oder mehrere Kinder mit einem Hörverlust eingesetzt werden. Dies bedeutet für die Lehrkraft, dass sie womöglich zwei kabellose Mikrofone tragen muss; eines für das Soundfield-System und eines für das FM System. Ein mühsames Unterfangen, wenn man bedenkt, dass keine Lehrkraft zwei Geräteeinheiten mit je einem Mikrofone und einem Sender bei sich tragen möchte. In den meisten Fällen ist der FM Sender über ein Audiokabel, das an dessen Audio-Eingang eingesteckt ist, mit dem Audio-Ausgang einer Soundfield-Lautsprechereinheit verbunden. Es kann auch vorkommen, dass eines der Systeme, FM oder Soundfield, gar nicht eingesetzt wird.

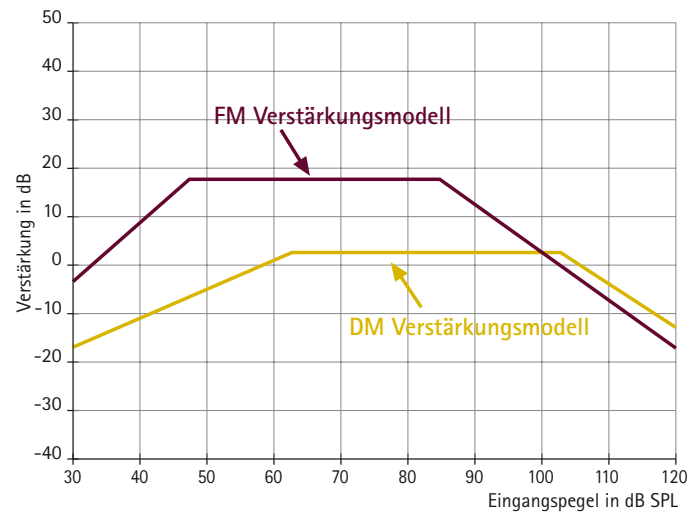
Die Soundfield-Technologie mit persönlichen FM Systemen zu verbinden, hat sich immer als schwierig und mehr oder weniger nicht effektiv erwiesen. Ein sehr wichtiger Minuspunkt zum Beispiel ist, dass beim Einspeisen eines Soundfield-Lautsprecherausgangs über den Audio-Eingang eines Dynamic FM Senders alle Vorteile des Adaptiven FM Vorteils verloren gehen. Das Signal eines FM Senders in einen Soundfield-Lautsprecher einzuspeisen kann sich als ineffektiv erweisen, da FM Systeme normalerweise ein Systemrauschen erzeugen. Dieses Systemrauschen eignet sich perfekt für schwerhörige Zuhörer, ist aber kaum akzeptabel für normal hörende Schüler.



Abb. 7. Der **inspiro** Sender ist in der Lage, gleichzeitig ein Audiosignal über FM Funkwellen zum am Ohr getragenen FM Empfänger und DM-Funkwellen zum DigiMaster 5000 Dynamic SoundField-Lautsprecher zu senden.

Überprüfungen der Kombination eines FM Systems mit einem Soundfield-System haben konstant ernsthafte Schwierigkeiten für Schulaudiologen ergeben. Es ist oft unmöglich, das Anpassziel beider Systeme mit herkömmlicher Technologie zu erreichen.

Verstärkungs-Eingangspegel



Statistische Übertragungsfunktion

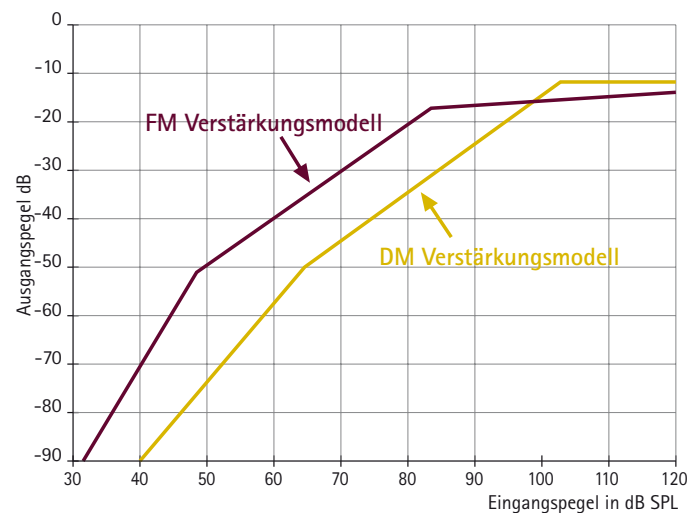


Abb. 8. Verstärkungsmodelle für ein FM System (schwarze Linie) und für ein Soundfield-System (gelbe Linie). Im oberen Diagramm ist die Verstärkung als Funktion des Eingangspegels dargestellt. Im unteren Diagramm wird ein Eingangs-Ausgangs-Diagramm gezeigt. Es ist deutlich, dass die allgemeinen Verstärkungspegel und Schwellenwerte für FM und Soundfield ziemlich unterschiedlich sind.

## 5. Lautsprecherdesign

Mit Dynamic SoundField hat Phonak ein für allemal das Dilemma beseitigt. Es wurden Dynamic FM und die Dynamic SoundField-Übertragungstechnologie in einem Sender kombiniert, während zwei optimierte digitale Audiosignalverarbeitungsschemata für beide Geräte geboten werden.

Das Verstärkungsmodell für FM unterscheidet sich merklich von dem Verstärkungsmodell für ein Soundfield-System, allerdings wird dies automatisch eingestellt.

Nachdem die Stimme der Lehrkraft vom EasyBoom-Mikrofon aufgenommen und zu einem digitalen Signal mittels eines AD-Konverters umgewandelt wurde, werden die Signalwege für Dynamic FM und Dynamic SoundField getrennt. Die Verstärkungsmodelle für Soundfield und für FM sind aus mehreren Gründen verschieden: zuerst ist die Definition "Verstärkung" für beide Systeme unterschiedlich. Zweitens, der Ausgang eines FM Systems wird in ein Hörgerät gespeist. Dies bedeutet, dass ein bestimmter Bereich eines optimalen Ausgangspegels des FM Empfängers überwacht werden muss. Der Ausgang eines Soundfield-Systems ist der verstärkte Klang, der aus dem Lautsprecher kommt. Hierbei muss die optimale Hörbedingung für Schüler mit normalem Gehör überwacht werden und Rückkopplungen, die sich aus einer zu hoch eingestellten Verstärkung ergeben, vermindern die maximale Verstärkung.

**inspiro** kann als Dynamic FM Sender und als Dynamic SoundField-Sender fungieren oder er kann als beides zur selben Zeit senden. Natürlich können diese drei Möglichkeiten im **inspiro** Betriebsmodus jederzeit kostenlos, mittels der FM SuccessWare, gewechselt werden. Damit die Dynamic SoundField-Höchstleistung garantiert wird, muss das neue EasyBoom-Mikrofon eingesetzt werden. Der Grund dafür besteht darin: das eingesetzte FM Verstärkungsmodell wurde unter Berücksichtigung der Empfindlichkeit des Mikrofons berechnet.

Mit dieser exklusiven und höchst effektiven Herangehensweise, gehören die Schwierigkeiten, Herausforderungen und Zweifel, die beim Verbinden eines FM Systems mit einem derzeitigen Soundfield-System auftraten, der Vergangenheit an. Durch das Einsetzen separater, dynamischer Verstärkungsmodelle bei FM und Soundfield und das Einsetzen verschiedener Übertragungstechnologien für beide Anwendungen, müssen beiderseits keinerlei Kompromisse mehr eingegangen werden.

Das Design des Lautsprechers hat einen großen Einfluss auf die Klangstreuung im gesamten Raum. Nicht umsonst wurden Anstrengungen unternommen, um Soundfield-Produkte in "Audio-Streuungs-Systeme" umzubenennen. Um den verstärkten Klang gleichmäßig im Raum zu verstreuen, gehen manche Hersteller sogar soweit und bieten vier Lautsprecher an. Diese müssen an unterschiedlichen Plätzen im Klassenzimmer angebracht werden. Dieser Aufwand verursacht mühsame Systeme und ist das Ergebnis eines langweiligen Lautsprecherdesigns mit keinem oder einem schlecht funktionierendem Rückkoppelungsunterdrückungs-Algorithmus. Darüber hinaus ist eine gleichmäßige Klangstreuung nicht dasselbe, wie ein guter Signal-Rausch-Abstand. Der SNR ist wichtig, um Sprache verstehen zu können.

Die Dynamic SoundField DigiMaster 5000 Lautsprechereinheit bietet eine "linienförmige Quelle" von 12 miniaturisierten qualitativ hochwertigen Lautsprechern. Der maximale Durchschnittsausgangspegel liegt bei 89 dB SPL bei 1 m Entfernung (ohne erhöhte Lautstärkenkontrolle von bis +8 dB, einem Umgebungslärmpegel von >60 dB SPL und einem Sprechpegel von 75 dB SPL bei 1 m Entfernung) und der maximale Spitzenpegel bei 1 m beträgt 96 dB SPL. Die Höhe der Lautsprecherreihe beträgt 650 mm und der Abstand zwischen dem Zentrum der zwei angrenzenden Lautsprecher beträgt 54 mm.

Dieses Design hat den Effekt, dass die Lautsprecherreihe den Klang vorwiegend im horizontalen Bereich, mit einer guten horizontalen Streuung aber einer niedrigen vertikalen Streuung, ausstrahlt. Der vertikale Streuwinkel des Hauptklangfeldes bei 500 Hz beträgt  $\pm 25^\circ$  und bei 2000 Hz nicht mehr als  $\pm 7^\circ$ .

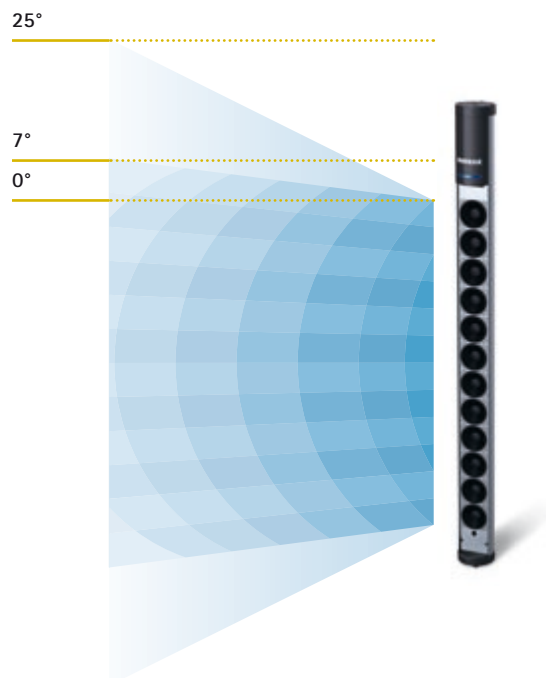


Abb. 9.  
Hauptklangfeld bei 500 Hz und 2000 Hz mit einem Streuwinkel von jeweils  $\pm 25^\circ$  und  $\pm 7^\circ$ .

Daraus resultiert, dass Klang anders verstärkt und im gesamten Raum verstreut wird, als von einer einzelnen Lautsprechereinheit (auch "Monopol"-Lautsprecher genannt). Während Monopol-Lautsprecher wie eine punktförmige Quelle funktionieren, die Klänge in alle Richtungen ausstrahlen, (inklusive unerwünschter Richtungen, wie etwa vom Schüler weg, an die Decke und den Boden), verbessert der DigiMaster 5000 das Verhältnis zwischen dem direkten Signal und den reflektierten Signalen signifikant. Das direkte Signal, ist das Signal, das das Ohr direkt vom Lautsprecher aus erreicht, in dem es einer geraden Linie folgt. Die reflektierten Signale erreichen das Ohr, nach einer oder mehrerer Rückstrahlungen oder Echos der Wände, Böden und Decken. Bleibt die Anzahl der Rückstrahlungen begrenzt, können die reflektierten Signale, zusammen mit dem direkten Signal, im Gehirn verarbeitet werden, um ein verständliches Signal zu erzeugen. Ist die Anzahl der Rückstrahlungen zu hoch und der Weg des Signals zu lang, wird die Verspätung des Echos so groß, dass das Gehirn dieses nicht zusammen mit dem direkten Signal verarbeiten kann. Die sogenannten "späten" Echos sind nichts anderes als Lärm. Schlecht entwickelte Lautsprechereinheiten kreieren viele späte Echos, und in Klassenzimmern mit schlechten akustischen Bedingungen sind diese Lautsprecher nicht in der Lage, den Signal-Rausch-Abstand an den Schülerohren wirklich zu verbessern. Da der DigiMaster 5000 die Klänge sehr direktional ausstrahlt, ist die Höhe des Lautsprechers von höchster Wichtigkeit. Die Höhe des Lautsprechers muss an das gesamte Klassenzimmer angepasst werden. Dafür muss die Mitte der Lautsprecherreihe idealerweise auf die Ohrenhöhe der Schüler eingestellt werden. Das Stativ des DigiMasters 5000 wurde unter Berücksichtigung dieses Kriteriums hergestellt. Die Mitte der Lautsprecherreihe liegt bei einer Höhe von 1,40 m. Für die Wandmontage wurde ein Winkel von 5° festgelegt, um die Klangübertragung im Klassenzimmer zu optimieren.

Die Höhe der Lautsprecherreihe und seine Anzahl von Lautsprechern wurden ganz bewusst gewählt, um die akustische Leistung zu optimieren und gleichzeitig die Produktions- und Frachtkosten in einem tragbaren Rahmen zu halten. Mehr Lautsprecher hätten zu höheren Kosten geführt, während die Zunahme der akustischen Vorteile mit jedem zusätzlichen Lautsprecher weniger und weniger geworden wäre. Weniger Lautsprecher würden die Herstellungskosten des Systems tatsächlich verringern, doch die Leistung des Systems würde unsere zwingend auferlegten Anforderungen nicht erfüllen. Der DigiMaster 5000 wurde so entwickelt, damit das optimale Preis-Leistungsverhältnis geboten werden kann.

Eine LED-Anzeige, oben am DigiMaster, zeigt den aktuellen Status des Systems an (in Betrieb, außer Betrieb, usw.). Eine Audio-Eingangsbuchse

(3,5 mm Buchse >10 kΩ Eingangsscheinwiderstand) wird derzeit benutzt, um den DigiMaster 5000 mit Smartboards oder jedem anderen Audiosystem zu verbinden.



DigiMaster 5000



## 6. Rückkoppelungs- unterdrückung

Rückkoppelung ist ein Phänomen, bei dem Klang, der von einem Lautsprecher produziert wurde, vom Mikrofon wieder aufgenommen wird und sich dadurch zusätzlich verstärkt. Dies führt zu störend lauten and manchmal gefährlichen Pfeiftönen, oder zu einer Person (im Falle von Soundfield, zu einer Lehrkraft, einem Schulaudiologe oder Techniker) die die Verstärkung so niedrig einstellt, dass möglicherweise alle Vorteile verloren gehen. Indessen wird die Einstellung einer höheren Verstärkung die benötigte Minimal-Entfernung einer Lehrkraft zum Lautsprecher erhöhen.

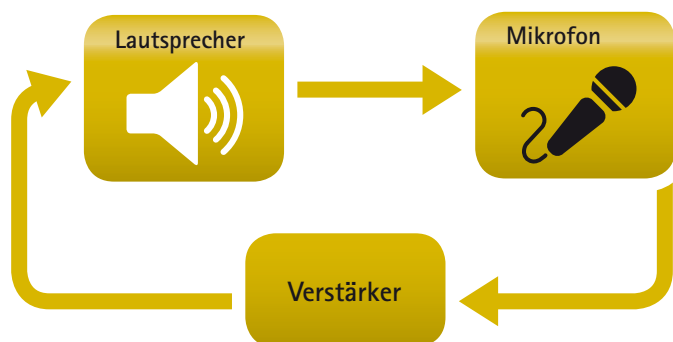
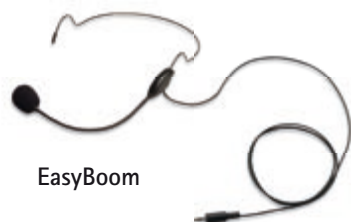


Figure 10.  
Das Prinzip der Rückkoppelung

Um solche Rückkoppelungsprobleme zu minimieren, müssen verschiedene Aspekte in Betracht gezogen werden:

- das Design des Soundfield-Mikrofans
- die Anzahl und das Design der Lautsprechereinheit
- die Verstärkung (Lautstärkeneinstellung) des Soundfield-Systems
- die Distanz zwischen dem Mikrofon und der Lautsprechereinheit
- und die Möglichkeit, fortschrittliche Rückkoppelungsunterdrückungs-Algorithmen einzusetzen

Ein Soundfield-System, das die ganze Zeit über Rückkoppelungen erzeugt, ist absolut nicht einsetzbar. Rückkoppelungsunterdrückungs-Algorithmen die die Verstärkung auf unakzeptabel niedrige Pegel verringern oder die hörbare oder störende Verzerrungen kreieren, erzielen nicht den benötigten Vorteil oder Hörkomfort. Die Hardware von Dynamic SoundField wurde so entwickelt, um Rückkoppelungen von Beginn an zu minimieren. Es wurden die fortschrittlichsten Rückkoppelungsunterdrückungs-Algorithmen, die derzeit auf dem Markt sind, eingebaut. Zwei Hauptkomponenten helfen, Rückkoppelungen zu minimieren: das EasyBoom-Mikrofon und die DigiMaster 5000 Lautsprechereinheit (*links*).



Das EasyBoom-Mikrofon, mit seiner direktionalen Empfindlichkeit und seiner Position nahe am Mund, nimmt die Sprache der Lehrkraft am idealen Punkt und bei einem hohen Schallpegel auf. Wohingegen zum Beispiel ein Ansteckmikrofon die maximale Verstärkung begrenzt und damit die Vorteile für die Schüler erheblich verringert. Die DigiMaster 5000 Lautsprechereinheit strahlt Klangwellen überwiegend auf der horizontalen Ebene aus. Da es sich dabei um keine punktförmige Quelle handelt, zumindest nicht in unmittelbarer Nähe, ist der DigiMaster 5000 in der Lage auf gleiche Distanz, höhere Schallpegel zu senden, als ein Monopol-Lautsprecher oder Lautsprecherreihen mit nur zwei oder vier Lautsprechern bei gleicher Verstärkung (die Verstärkung wird hier als der Pegel der verstärkten Sprache an der Mikrofonposition der Lehrkraft definiert). Da die Lehrkraft sich im vorderen Teil des Klassenzimmers aufhält und die Lautsprecherreihe in den meisten Fällen ebenfalls im vorderen Teil befindet, wird weniger Verstärkung benötigt, um denselben Schallpegel im hinteren Teil des Klassenzimmers zu erreichen. Zusätzlich zu seinem höchst optimierten Hardware-Design, benutzt Dynamic SoundField ebenfalls ein intelligentes Rückkoppelungsunterdrückungssystem. Dieses duale Unterdrückungssystem beinhaltet zwei unterschiedliche Algorithmen; einer arbeitet im Zeitbereich bei niedrigen Systemverstärkungseinstellungen (welche generell ziemlich ruhigen Situationen gleich kommt) und bei höheren Systemverstärkungseinstellungen übernimmt ein anderer Algorithmus, der im Frequenzbereich arbeitet, die Aufgabe. Der Algorithmus der Rückkoppelungsunterdrückung, der bei niedriger Verstärkung aktiv ist, wurde optimiert, um den best möglichen Klang zu liefern. Bei ruhigen Bedingungen kann selbst die kleinste Verzerrung gehört werden und dies sollte vermieden werden. Da die Verstärkung des Dynamic SoundField-Systems bei ruhigen Bedingungen relativ niedrig ist, kann das System eine ziemliche sanfte Form der Rückkoppelungsunterdrückung erbringen. Tatsächlich geht bei sehr ruhigen Bedingungen das Audiosignal nicht durch den sogenannten Wiener Filter der Rückkoppelungsunterdrückung. So lange keine Rückkoppelung entsteht, kreiert der Rückkoppelungsunterdrücker keine Artefakt, Verzerrung oder Reduzierung der Verstärkung. Das reine Audiosignal, wie es am EasyBoom aufgenommen wird, wird zur Verstärkung benutzt. Bei lauten Bedingungen, können die Verzerrungspegel höher sein, bevor sie über das Hintergrundgeräusch hinaus wahrgenommen werden.

Bei Lärm wird die Verstärkung des Dynamic SoundFields automatisch erhöht und es werden stärkere Rückkoppelungsunterdrückungs-Algorithmen benötigt. Die beiden Algorithmen der Rückkoppelungsunterdrückung werden automatisch aktiviert. Welcher aktiviert wird, hängt von der aktuellen Verstärkung des Dynamic SoundField-Systems ab und somit vom Lärmpegel im Klassenzimmer.

Durch diese innovative Herangehensweise, liefert Dynamic SoundField eine optimale Klangqualität, verhindert Rückkoppelungen selbst bei hohen Verstärkungen im Lärm und hindert die Lehrkraft nicht daran, sich frei im Klassenzimmer zu bewegen.

## 7. MultiTalker Netzwerk

Kinder lernen nicht nur von den Lehrkräften, sondern auch von anderen Kindern. Die Möglichkeit, nicht nur die Stimme der Lehrkraft zu verstärken, sondern auch die Stimmen der Mitschüler (oder von einer zweiten Lehrkraft, von Assistenten und Therapeuten) ist ein echter Gewinn für jedes SoundField-System.

Dasselbe gilt für FM Systeme. In der Vergangenheit hat eine Technologie, "Team-Teaching" genannt, die Stimmen zweier kabelloser Mikrofone, für Schüler mit Hörgeräten und FM Empfängern, in ein Signal umgewandelt. Allerdings hat Phonak 2008 sein MultiTalker Netzwerk (MTN) auf den Markt gebracht, in dem mehrere Sender auf derselben Frequenz senden können. Dies führte zu Systemen mit weniger Rauschen und löste viele praktischen Probleme, wie das sorgfältige Auswählen unterschiedlicher FM Frequenzen für das Team-Teaching, um Empfangsstörungen und rechtliche Probleme zu vermeiden.

Im MultiTalker Netzwerk ist ein **inspiro** Sender der Hauptsender, der das Netzwerk verwaltet. Die Möglichkeit für Benutzer anderer Sender, zu sprechen ist vorhanden. Dies hängt jedoch von den Prioritätsregeln die im Netzwerk eingebaut sind, der Verfügbarkeit oder dem Fehlen des Sprechsignals am Mikrofon jedes einzelnen Senders ab.

Wenn das MTN erst einmal eingestellt wurde, läuft es automatisch und intuitiv. Die Entwicklung der Dynamic SoundField-Technologie bot Phonak die Möglichkeit, das erprobte Konzept des MultiTalker Netzwerkes gleich zu Beginn mit einzubauen.

Es können maximal 10 **inspiro**/DynaMic Sender im MultiTalker Netzwerk benutzt werden.

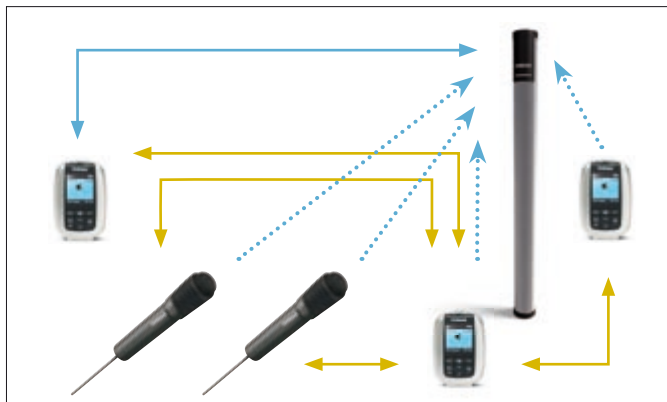


Abb 11.  
Im MultiTalker Netzwerk (MTN) ist ein **inspiro** Sender der Hauptsender, der das Netzwerk verwaltet. Die Möglichkeit, für Benutzer anderer Sender, zu sprechen ist vorhanden. Dies hängt jedoch von den Prioritätsregeln die im Netzwerk eingebaut sind, der Verfügbarkeit oder dem Fehlen des Sprechsignals am Mikrofon jedes einzelnen Senders ab. Die gelben Linien zeigen die kontinuierliche Kommunikation zwischen dem Hauptsender **inspiro** und den anderen Sendern im MTN an. Die blau gepunktete Linie zeigt den Stand-by-Modus und die blaue Linie den aktiven Modus der Sender an.

## 8. Energiesparendes Design

Dank des dedizierten Netzteils, erfüllt der DigiMaster 5000 den Eco-Designstandard für Europa, der im Januar 2010 festgelegt wurde. Wenn der DigiMaster 5000 ausgeschaltet ist, liegt sein Stromverbrauch bei weniger als 0,5 W. Im Stand-by-Modus (**inspiro** ausgeschaltet, DigiMaster eingeschaltet) liegt dieser bei 1 W.

Während der üblichen Benutzung im Klassenzimmer, benötigt ein DigiMaster 5000 etwa 3 W. Im Vergleich zum Energieverbrauch, um ein Klassenzimmer zu beleuchten, ist dies ein minimaler Bruchteil der Energie und infolgedessen ein Bruchteil der Kosten.

## 9. Upgrades

Schulen möchten den Vorteil der Technologieentwicklung genießen ohne sich andauernd neue Gerätschaften kaufen zu müssen. Genau diese zukunftsgerichtete Funktionalität bietet ein Dynamic SoundField-System von Phonak. Beide, sowohl der **inspiro** Sender als auch die DigiMaster 5000 Lautsprechereinheit operieren wie kleine Computer, auf denen eine Software, die sogenannte Firmware, läuft. Diese Firmware bestimmt im großen Umfang, welche Funktionalität möglich ist und die Verhaltensweise des Systems. Wenn neu erprobte Funktionen erhältlich sind, kann die neueste Version der Dynamic SoundField-Firmware über das Internet heruntergeladen werden. Dies dauert nur wenige Minuten und der Kunde muss keine Produkte an Phonak einsenden. Zum Beispiel bekamen Kunden in der Vergangenheit, durch das Herunterladen von Upgrades der **inspiro** Firmware, Zugang zu neuen und verbesserten Funktionen. Diese schlossen die Möglichkeit der kabellosen Überwachung kürzlich erschienener Dynamic FM Empfänger und das Hinzufügen neuer Sprachen zum Menu mit ein. Das ultimative kostenfreie Upgrade: jeder existierende **inspiro** Sender kann nun zu einem Dynamic SoundField-Sender aufgerüstet werden.

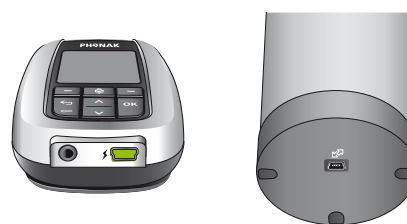


Abb. 12.  
Beide, sowohl der **inspiro** Sender als auch die DigiMaster 5000 Lautsprechereinheit bieten eine USB-Verbindung für Firmware-Updates.

# 10. Neueste Testergebnisse: Formales Testen des Sprachverstehens im Lärm in Klassenzimmersituationen

In einer Schule in Murten/Schweiz wurden, in einem hallenden Klassenzimmer, formale Tests des Sprachverstehens im Lärm durchgeführt, um den Vorteil des Dynamic Speech Extractors, der von Dynamic SoundField benutzt wird, qualitativ bestimmen zu können und zu objektivieren. 10 Schüler wurden im Freien mit dem Oldenburger Satztest getestet. Die Sprache wurde über einen Lautsprecher gesendet. Der Lautsprecher befand sich in einem B&K-Torso, der vor der Klasse saß und die Lehrkraft simulierte. Der B&K-Torso trug einen **inspiro** mit einem EasyBoom-Mikrofon, genau so, wie die Lehrkraft es tun würde. Sprache wurde unter zwei Konditionen abgespielt: mit Dynamic SoundField ausgeschaltet und mit Dynamic SoundField eingeschaltet. Die DigiMaster 5000 Lautsprechereinheit wurde links vom B&K-Torso platziert, 1 m von der Rückwand und 1,80 m von der linken Wand des Klassenzimmers entfernt.

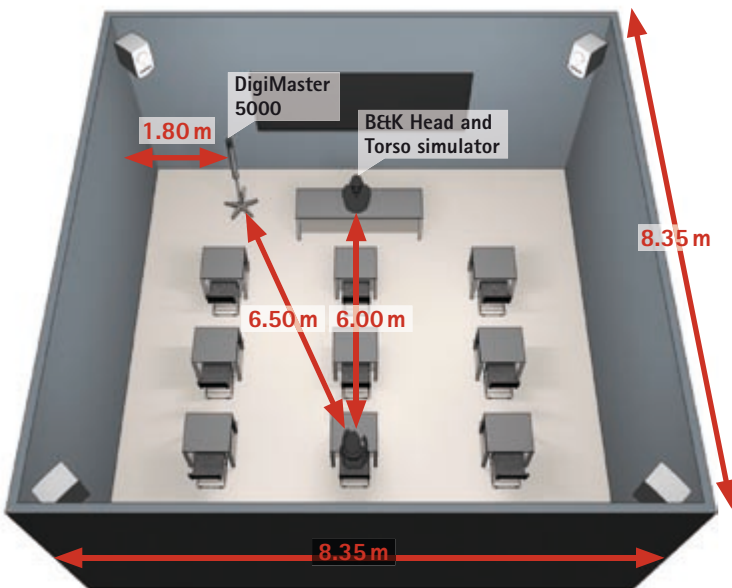


Abb. 13. Testaufbau für die Messungen des Sprachverstehens. Die Größe des Klassenzimmers betrug 8,35 auf 8,35 Meter. Die Lautsprecher, die den Lärm generierten, wurden in den vier Ecken des Klassenzimmers, auf einer Höhe von 1,70 Metern positioniert.

Vier Lautsprecher wurden in den vier Ecken des Klassenzimmers aufgestellt. Diese erzeugten ein diffuses Lärmfeld. Die Schüler mussten sich, entweder 3 oder 6 Meter, vom B&K-Torso entfernt hinsetzen. Dies entspricht jeweils einer Entfernung von 3,8 und 6,5 Metern zum DigiMaster 5000. Die Tests des Sprachverstehens wurden bei einem Umgebungslärmpegel von 50, 60 und 70 dB SPL durchgeführt. Sprache wurde bei einem normalen Konversationspegel (65 dB SPL bei 1 m), bei 50 und 60 dB SPL Umgebungslärmpegel und bei einem leicht erhöhten Pegel (69 dB SPL bei 1 Meter) für die 70 dB SPL Lärmbedingung gesendet. Ohne Dynamic SoundField lagen die Durchschnittswerte des Sprachverstehens bei 95%, 25% und 0%, bei einem Lärmpegel von 50, 60 und 70 dB SPL. Bei eingeschaltetem Dynamic SoundField System lagen die Werte des Sprachverstehens bei allen Lärmbedingungen, auch bei einem Lärmpegel von 70 dB SPL, über 95%.

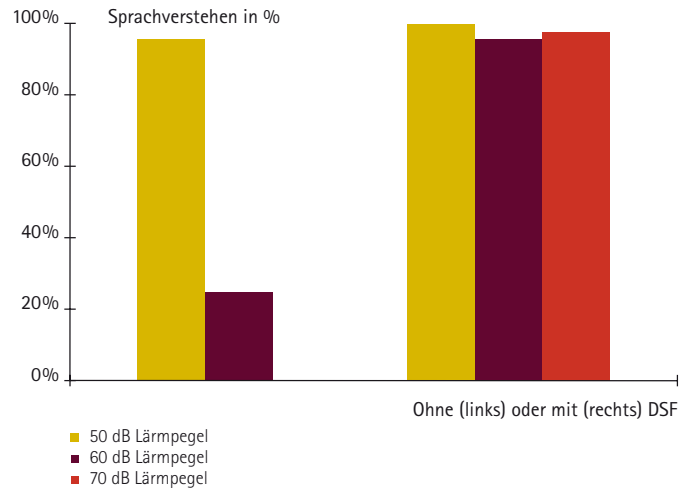


Abb. 14. Mit Dynamic SoundField erhöht sich das Sprachverstehen bei einem Lärmpegel von 60 und 70 dB SPL enorm, von 25% und 0% auf jeweils ca. 95%.

Es ist sehr unwahrscheinlich, dass irgendeine Art akustischer Behandlung diese Resultate erzielen könnte: eine Verbesserung des Sprachverstehens von 0% auf beinahe 100%, bei einem Umgebungslärmpegel von 70 dB SPL und einer Entfernung von der Lehrkraft von 6 Metern.

## 11. Liste der Abkürzungen

ANSI	American National Standards Institute
B&K	Brüel und Kjær
dB	Dezibel
DfES	Department for Education and Skills
DM	Digitale Modulation
DSF	Dynamic SoundField
FM	Frequenzmodulation
GHz	Gigahertz
Hz	Hertz
ISM Band	Industry, Medical, and Science Band / Industrie-, Medizin- und Wissenschafts- Band
LED	Light Emitting Diode / Leuchtdiode
m	Meter
µs	Mikrosekunde

MTN	MultiTalker Network / MultiTalker Netzwerk
RT	Reverberation time / Nachhallzeit
s	Sekunde
SNC	Surrounding Noise Compensation / Geräuschunterdrückung
SNR	Signal to Noise Ratio / Signal-Rausch-Abstand
SPL	Sound Pressure Level / Schalldruckpegel
STI	Speech Transmission Index / Sprachübertragungs-Index
USB	Universal Serial Bus
W	Watt
WHO	World Health Organisation / Weltgesundheitsorganisation
WLAN	Wireless Local Area Network / kabelloses, lokales Netzwerk
WRMS	Watt Root Mean Square / Effektives Leistungsvermögen

## 12. Referenzen

- 1) WHO: <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>
- 2) ANSI S12.60-2002 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools
- 3) Building Bulletin 93 (BB93), <http://www.teachernet.gov.uk/management/resourcesfinanceandbuilding/schoolbuildings/enviroment/acoustics/>
- 4) <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:339:0045:0052:EN:PDF>



EasyBoom



inspiro



DynaMic



DigiMaster 5000