

PRODUCTION PARTNER

Fachmagazin für Veranstaltungstechnik



Test
aus Ausgabe 07/2019



Aktives Kompakt-Line-Array **SE Audiotechnik** **M-F3A Pro / S12 Pro**

SE Audiotechnik präsentiert mit dem M-F3A Pro eine neue Version des kompakten M-Line-Arrays mit neuen Treibern und integrierter Elektronik, passend dazu wurde auch der Subwoofer S12 in einer Pro-Version mit neuem 12"-Chassis und Aktiv-elektronik fertiggestellt



Das Fachportal
für die AV- und
Event-Branche

**PRODUCTION
PARTNER**
Fachmagazin für Veranstaltungstechnik

Text und Messungen: Anselm Goertz | Fotos: Dieter Stork, Detlef Hoepfner (4), SE (2)

SE Audiotechnik mit Sitz in Solingen ist zwar ein unter diesem Namen bislang noch eher unbekannter Hersteller von professionellen Lautsprechern. Dass es sich aber überhaupt nicht um einen Branchenneuling handelt, klärt sich bei einem Blick auf die Firmenhistorie: Die Basis wurde bereits 1980 durch Michael von Keitz mit der Firma speaker trade und der Eigenmarke MIVOC gebildet. In der Anfangszeit beschäftigte man sich primär mit der Entwicklung und Fertigung von HiFi-Lautsprechern. Ab den 90er-Jahren kam dann das Pro-Audio-Geschäft dazu. Die daraus folgende steigende Nachfrage führte zur Gründung der Tochterfirma Speaker Electronic (SE) in der Nähe von Shanghai. Heute agiert SE in China mit 700 Mitarbeitern in einer seltenen Konstellation: Eine chinesische Firma, die sich zu 100% in deutschem Besitz befindet und auch mit einer hierzulande üblichen Firmenstruktur und Philosophie geführt wird. Man fertigt alle Lautsprecher-Chassis und die gesamte in den hier erwähnten Produkten verbaute Elektronik zu 100% selbst in der eigenen Fabrik. In diesem Umfeld entstanden neben MIVOC und SE auch noch die Marken VUE und Speaker Connection. VUE betätigt sich seit einigen Jahren als Hersteller von Highend-Beschallungslautsprechern und kann mit einigen illustren Namen wie Kenneth Berger oder Michael Adams in der Geschäftsführung aufwarten. Speaker Connection handelt dagegen eher im Hintergrund mit der Entwicklung und Fertigung von OEM-Produkten für verschiedene große Marken. Von der Zentrale in Solingen gesteuert sind in der Entwicklung 40 internationale Ingenieure tätig, die zu 95% fest angestellt oder auch freiberuflich für SE tätig sind.

Für die Lautsprecherentwicklung zeigt sich bereits seit den 90er-Jahren der erfahrene Entwickler Michael Kapp aus Solingen verantwortlich. Hinzu kommen noch einige zugekaufte Auftragsentwicklung von spezialisierten Firmen der Audiotechnik. Im September 2018 wurde im Solinger Firmengebäude, einer ehemaligen Brauerei an der Neuenhofer Straße, ein großer Showroom für Vorführungen eingeweiht, wo jetzt auch die Möglichkeit besteht, SE-Produkte jederzeit unter guten Bedingungen zu testen.

Ein Blick auf die SE Produktpalette zeigt drei Serien: Die M-Line mit aktiven kompakten PA-Lautsprechern, aus der auch die hier vorgestellten Produkte stammen, die I-Line mit Installationslautsprechern, Subwoofern und Endstufen und die L-Line mit zwei kompakten Line-Array-Systemen. Basis der M-Line ist das aktive Line-Array Topteil M-F3A Pro, das nach

Bedarf mit dem flugfähigen Subwoofer M-F3A FS erweitert oder durch einen M-F3A S12 Pro Subwoofer im Groundstacking unterstützt werden kann. Alle Subwoofer sind ebenfalls aktiv und mit einem eigenen DSP-System ausgerüstet.

SE Audiotechnik M-F3A Pro und S12 Pro

Zur Prolight+Sound 2019 in Frankfurt wurde die zweite Generation der M-Line mit dem Suffix „Pro“ in der Typenbezeichnung vorgestellt. Die Verbesserungen finden sich in kräftigeren Endstufen und verbesserten Treibern. Letztere stammen natürlich ebenfalls komplett aus der hauseigenen Entwicklung und Fertigung.



SE Audiotechnik M-F3A Pro ist als Line-Array-Element mit acht Tiefmitteltönern und sieben Hochtönern aufgebaut



Ein einfacher Wahlschalter definiert Presets für eine Länge des Arrays von 1 bis 8 Einheiten

Das Topteil ist als Line-Array-Element mit acht Tiefmitteltönern und sieben Hochtönern aufgebaut. In der symmetrisch zur Mittelachse aufgebauten Anordnung befindet sich die Linie mit sieben Hochtönern in der Mitte und wird beidseitig von je vier Tieftönern flankiert. Als Mitteltieftöner kommen kleine 2,8"-Neodymtrieber zum Einsatz. Die Hochtöner sind 1"-Kalotten, ebenfalls mit Neodymantrieb. Die etwas ungewöhnlich Anzahl „sieben“ bei den Hochtönern entstand durch den Wunsch, die Tieftöner so dicht wie möglich übereinander anzuordnen, so dass auf der so definierten Höhe der Box genau sieben Hochtöner passten. Alternativ hätte man für acht Hochtöner die Box etwas höher bauen können, womit dann aber auch wieder akustische Nachteile in Form der größeren Einzelelemente des Arrays und des künstlich vergrößerten Abstandes zwischen den Tieftönern entstanden wären. Die Variante mit sieben Hochtönern bietet dagegen eine maximal dichte Anordnung der Einzelquellen sowohl bei



Subwoofer S12 Pro mit Bassreflexgehäuse und 12"-Treiber

den Tieftönern wie auch bei den Hochtönern. Der zugehörige Subwoofer in der „Pro“-Version ist der S12, der vom Aufbau mit Bassreflexgehäuse und 12"-Treiber als Nachfolger des 112BR gesehen werden kann. Auch hier gibt es eine kräftigere Endstufe und einen neuen verbesserten Treiber.

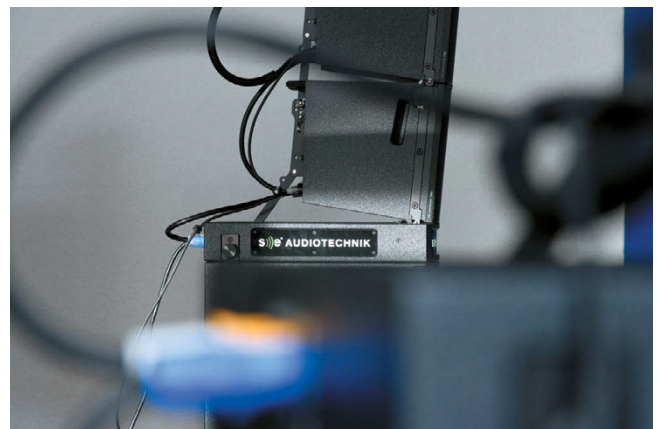
Zielsetzung bei der Entwicklung der M-F3A Pro war neben der maximalen akustischen Performance eine leichte Handhabung, die es auch ungeübten Anwendern ermöglichen soll, ein Line-Array richtig aufzubauen und zu konfigurieren. Das betrifft die mechanischen Eigenschaften und auch die Einstellmöglichkeiten an den Lautsprechern. Bei den Topteilen gibt es so nur einen einfachen Wahlschalter für die Länge des Arrays von 1 bis 8 Einheiten. Der Subwoofer wird über ein mehrzeiliges Display mit einem Inkrementalgeber bedient, wo bereits fertige Setups für die Kombination mit dem Topteil M-F3A Pro abgelegt sind, die es in den Varianten

Standard, Cardioid oder Endfire gibt. Die beiden zuletzt genannten ermöglichen eine gerichtet Bassabstrahlung. In der Cardioid-Anordnung werden zwei nach vorne strahlende Subwoofer mit einem nach hinten strahlenden im Stack kombiniert. Das Endfire-Prinzip arbeitet mit Subwoofern, die hintereinander in einem definierten Abstand angeordnet werden, so dass der nach hinten abgestrahlte Schall ausgelöscht wird. Beide Anordnungen ermöglichen es auch mit kompakten Lautsprechern, bei tiefen Frequenzen ein signifikantes Richtverhalten zu erzielen. Die drei Einstellungen Standard, Cardioid und Endfire gibt es bei den werksseitigen Setups des S12 auch noch in der Variante Generic für die Kombination mit anderen Topteilen. Unabhängig von den vorgefertigten Setups kann der Anwender auch eigene Setups erstellen oder auch die vorgefertigten abändern und auf neuen Speicherplätzen ablegen. In der freien Konfiguration können Hoch- und Tiefpassfunktionen, diverse parametrische EQs, Gain, Delay und Phase inverse eingestellt werden. Für alle Standardanwendungen zusammen mit den M-F3A wird das jedoch nicht benötigt. Der Anwender muss ganz im Sinne einer einfachen Bedienung nur aus einem der drei fertigen Presets Standard, Cardioid oder Endfire auswählen.

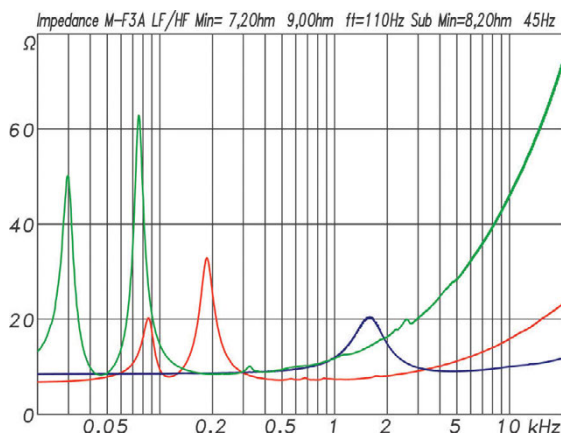
Die Mechanik der M-F3A Pro ist ähnlich einfach und sicher zu bedienen wie die Elektronik. Die Subwoofer S12 Pro können für die Kombination eines Stacks mit einer Zweipunkt-Mechanik schnell und sicher untereinander verbunden werden. Da die Verriegelungen diagonal zueinander vorne und hinten angeordnet sind, können diese auch im Cardioid-Stack angewandt werden. Unabhängig von der Verriegelung rasten auch die Füße der jeweils oberen Box in entsprechende Ausfräsungen der unteren ein, so dass die Subs immer genau ausgerichtet aufeinander stehen. Die Mechanik rastet danach mit einem Handgriff ein und das Stack bildet eine solide Einheit. Für die Topteile gibt es verschiedene Varianten der Aufstellung bzw. Aufhängung. Mit einem Groundstack-Frame, der auf dem obersten Subwoofer vergleichbar einem weiteren Sub mit der Zweipunkt-Mechanik befestigt wird, können bis zu vier M-F3A auf dem Groundstack aufgesetzt werden. Drei Subs als Cardioid und vier Tops lassen sich so zu einem sehr wirksamen und optisch gefälligen Mini-System kombinieren. Für kleinere Sets können auch ein oder zwei M-F3A Pro mit Hilfe eines U-Brackets und einer Stativstange auf einem Subwoofer oder auf einem Stativ aufgebaut werden. Größere Arrays mit bis zu zwölf M-F3A Pro werden mit Hilfe eines Bumper Frames oder des Multi Purpose Rigging Frames geflogen. Die M-F3A Pro arbeitet mit einer Dreipunkt-Mechanik, bei der der Splay-Winkel hinten über die entsprechenden Löcher für den Kugelsperbolzen



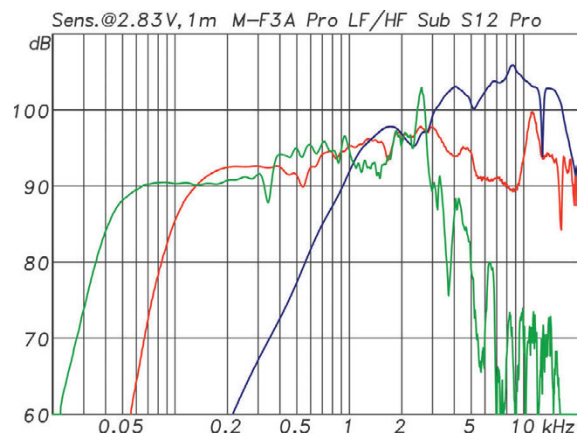
Subwoofer S12 Pro mehrzeiliges Display und Inkrementalgeber rufen fertige Setups für die Kombination mit dem Topteil M-F3A Pro in den Varianten Standard, Cardioid oder Endfire ab



Flugrahmen mit Stromanschluss? Ein beleuchtetes Logo wird im asiatischen Raum geliebt, hierzulande bleibt der Anschluss wohl eher frei



Impedanzkurven der M-F3A Pro mit LF-Zweig (rot) und HF-Zweig (blau) sowie Subwoofer S12 Pro (grün). Die Tuningfrequenzen der Bassreflexgehäuse liegen für die M-F3A Pro bei 110 Hz und für die S12 Pro bei 45 Hz (Abb. 1)



Frequenzgänge und Sensitivity der M-F3A Pro im LF-Zweig (rot) und HF-Zweig (blau), Subwoofer S12 Pro (grün). Alle Pegelwerte auf 2,83 V/1 m entsprechend 1 W/1 m bezogen (Abb. 2)

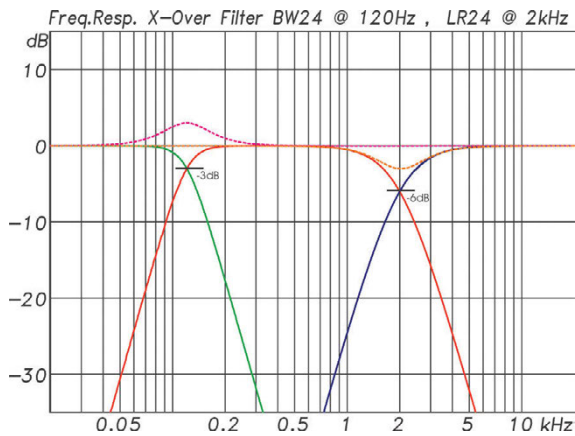
eingestellt wird. Möglich sind Winkel von 0° bis 8° in 1°-Stufen. Der Aufbau eines Arrays gelingt dank des geringen Gewichts der M-F3A von nur 8,3 kg mit leichter Hand. Für den Transport bietet SE ein Case für je vier M-F3A an.

Nicht unerwähnt bleiben soll noch ein spezielles Feature des Ground Stack Frames, der – ganz ungewöhnlich – über einen Stromanschluss verfügt. Klemmt man diesen an, dann leuchtet dreiseitig der SE-Audiotechnik-Schriftzug. In Solingen erklärt man dazu, dass solche kleine dekorative Details speziell im asiatischen Raum sehr beliebt seien und man sich daher für dieses kleine Marketing-Feature entschieden habe.

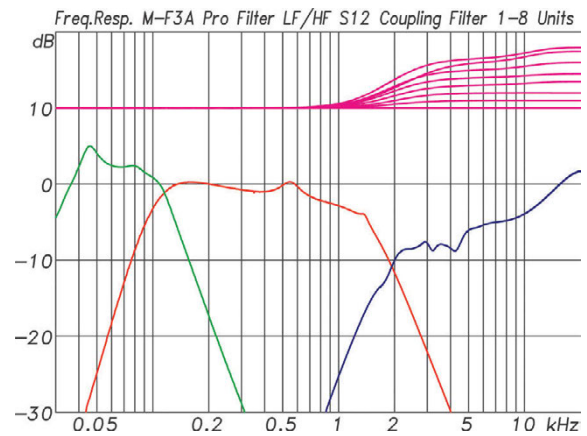
Bei den für den Betrieb tatsächlich notwendigen elektrischen Anschlüssen gibt es an jeder Box einen Powercon mit Link-Buchse für die Stromversorgung und eine XLR-Buchse mit Link-Ausgang für die Signalzuspielung. Beide können im Array durchverlinkt werden. Da jeder Lautsprecher auch über einen Netzschalter verfügt, sollte man, bevor ein Array positioniert wird, immer noch einen prüfenden Blick auf die Schalter werfen, ob auch wirklich alle eingeschaltet sind. Gleiches gilt für die Pegelsteller, die sich an den Topteilen befinden. Vier Toppteile und zwei bis drei Subwoofer an einer Phase zu betreiben ist im Prinzip möglich. Ein Problem kann jedoch durch den Einschaltstrom entstehen, wenn alle Lautsprecher eines Arrays gleichzeitig ans Netz gehen. Diese Konstellation brachte bei uns sogar einen C-Automaten von 16 A zur Auslösung.

Messwerte SE Audiotechnik M-F3A Pro und S12 Pro

Bei den Labormessungen wurden zunächst die einzelnen Wege betrachtet, ohne die integrierte Elektronik zu nutzen. Alle Wege einschließlich des 12"-Subwoofers sind 8-Ω-Systeme. Die Sensitivity-Angaben in Abb. 2 für 2,83 V/1 m entsprechen daher auch den Werten 1 W/1 m. Der Subwoofer arbeitet makellos mit einer unteren Eckfrequenz von ca. 40 Hz. Zu den Mitten hin verläuft die Kurve in der Sensitivity langsam ansteigend, ebenfalls ohne Auffälligkeiten. Im relevanten Frequenzbereich beträgt die Sensitivity 90 dB. Mit einer Tuningfrequenz (Abb. 1) von 45 Hz kann der S12 Pro so gut bis 40 Hz hinab genutzt werden. Deutlich höher abgestimmt mit 110 Hz sind die kleinen Tief-Mitteltöner in den Toppteilen. Schaut man sich deren Frequenzgang insgesamt an, dann könnte man durchaus auch von ordentlichen Breitbandchassis sprechen. Die Trennung zu den Hochtönern erfolgt bei 2 kHz, was völlig problemlos ist. Die Sensitivity für die acht Treiber im Verbund liegt im relevanten Frequenzbereich zwischen 92 und 95 dB, die zusammen mit der verfügbaren Endstufenleistung von 300 W bereits ein gewisses Potential in sich tragen. Zum Subwoofer hin erfolgt die Trennung bei 120 Hz, wo keiner der beiden beteiligten Weg einen Kompromiss eingehen muss. Die Hochtonzelle wäre ab ca. 1,5 kHz bereits einsetzbar und erreicht eine ebenfalls beachtliche Sensitivity von 98 bis 105 dB 1 W/1 m. Alle drei Wege für sich betrachtet schaffen so bereits eine gute Voraussetzung für ein ebensolches Gesamtergebnis.



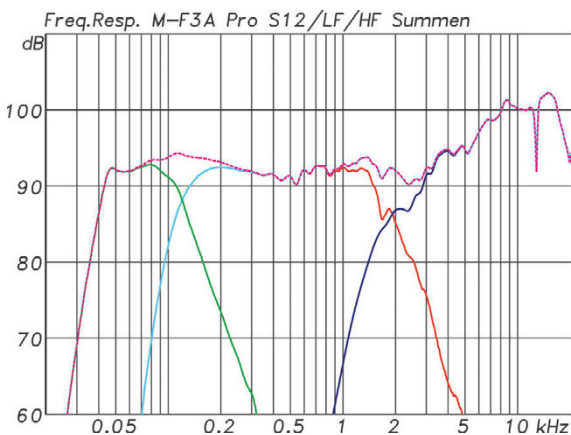
Frequenzgänge von Hoch- und Tiefpassfilter bei 120 Hz mit Butterworth-Charakteristik und bei 2 kHz mit Linkwitz-Riley-Charakteristik. In beiden Fällen beträgt die Flankensteilheit 24 dB/Oct. Die gestrichelte Magenta-Kurve zeigt die komplexe Addition der einzelnen Kurven, die gestrichelte orange Kurve die energetische Addition (Abb. 3)



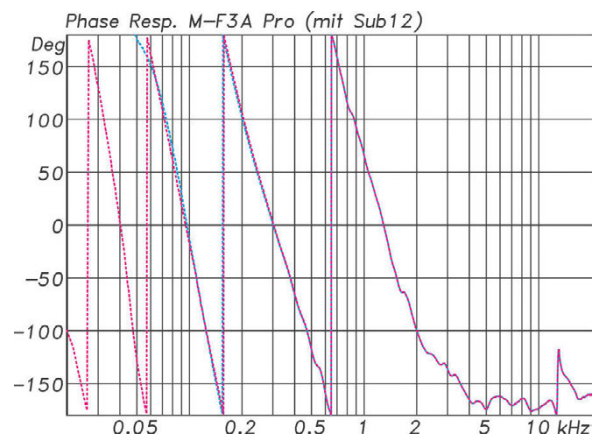
Filterfunktionen für den LF-Zweig (rot), den HF-Zweig (blau) und für den Subwoofer S12 Pro (grün). Oben die Coupling-Filter für Arrays mit einer Länge von 1 bis 8 Einheiten (Abb. 4)

Die zugehörigen Filterfunktionen aller drei Wege sind in Abb. 4 dargestellt. Erwartungsgemäß muss nicht mehr allzu viel gefiltert werden. Die eine oder andere kleine Anhebung oder Absenkung sind schon eher kosmetischer Art. Die Trennungen erfolgen bei 120 Hz und bei 2 kHz, wenn man das Gesamtergebn aus Filtern und Lautsprechern aus Abb. 5 betrachtet. Innerhalb der Topteile ergibt sich daraus ein Übergang mit Linkwitz-Riley-Charakteristik. Die Trennung zum Subwoofer erfolgt mit Butterworth-Hoch- und Tiefpass-

filtern. Linkwitz-Riley-Charakteristika werden bevorzugt dort eingesetzt, wo der Lautsprecher bereits eine gewisse Richtwirkung entfaltet, somit bei mittleren und höheren Frequenzen. Direktschallanteile auf Achse gemessen addieren sich dabei komplex zu einem konstanten Frequenzgang. Bei der Trennfrequenz treffen sich Hoch- und Tiefpasskurven bei -6 dB. Bei tiefen Frequenzen und somit für die Trennung zwischen Topteilen und Subwoofern, entscheidet für den Hör-eindruck weniger der Direktschallanteil, sondern mehr der



Frequenzgang einer einzelnen M-F3A Pro ohne und mit Subwoofer S12 Pro, die Hochtonganhebung kompensiert bereits einen Teil des Coupling-Effektes im Array (Abb. 5)



Phasengang einer M-F3A Pro ohne (hellblau) und mit Subwoofer S12 Pro (magenta), Abb. 6

Energieeintrag im Raum. Sollen sich Hoch- und Tiefpassanteile energetisch zu einem konstanten Betrag addieren, dann müssen sich die Kurven an der Trennfrequenz bei -3 dB schneiden, was der Butterworth-Charakteristik entspricht. Komplex addiert oder als Lautsprecher in der reflexionsfreien Umgebung gemessen entsteht dadurch eine Überhöhung von 3 dB bei der Übergangsfrequenz. Abb. 3 zeigt die Zusammenhänge am Beispiel von einfachen Hoch- und Tiefpassfiltern mit Butterworth-Charakteristik bei 120 Hz und Linkwitz-Riley bei 2 kHz. Zusammen mit den Lautsprechern in Abb. 5 ist der Effekt nicht ganz so deutlich nachvollziehbar, weil beide Kurven schon etwas früher beginnen abzufallen.

Zusammenspiel im Array

Die weiteren Kurven im oberen Teil von Abb. 4 zeigen die eingestellten Korrekturen für Arrays mit bis zu acht M-F3A Pro. Der Gedanke dahinter scheint zunächst etwas unklar. Es gibt einen Schalter an der Box für die Filteranpassung von einer bis zu acht Boxen in Einzelschritten. Das könnte man so interpretieren, dass in der Einstellung für eine Box, diese jetzt auch einen linearen Frequenzgang aufweist, um z. B. als Fill-System allein eingesetzt zu werden. Dem ist aber nicht so, wie man in Abb. 5 deutlich sieht. Oberhalb von 3 kHz steigt die Kurve um 8 dB an. Eine gewisse Vorab-Kompensation für ein Array ist somit bereits vorhanden. Entwickler Michael Kapp erklärt diese Einstellung damit, dass eine einzelne Box aufgrund des starken Richtverhaltens in den Höhen im Höreindruck mit einem geraden Frequenzgang auf Achse außerhalb der Mittelachse schon deutlich zu wenig Höhen hätte. Ein kurzer Hörtest bestätigt diesen Eindruck. Nur ganz exakt auf der Mittelachse scheinen die Höhen ein wenig überbetont, geringfügig außerhalb bereits nicht mehr. Entsprechend schwächer fallen dann auch die Anhebungen in den Höhen durch die Filter für Arrays mit 2 bis 8 Einheiten aus. So hebt die Einstellung für ein Array mit vier M-F3A die Höhen um 4 dB an, womit sich insgesamt eine Anhebung von 12 dB ergibt, die passend für ein Array aus vier Elementen ist, da sich die Tiefen und Mitten mit jeder Verdopplung der Elemente im Array um 6 dB verstärken. Was so auf den ersten Blick zunächst nicht ganz plausibel erschien, erklärt sich bei näherer Betrachtung.

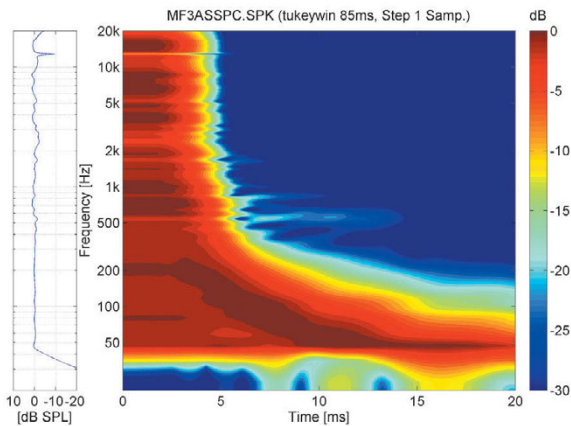
Zusammen mit dem Subwoofer S12 Pro reicht die Kombination bis ca. 40 Hz und ist damit voll PA-tauglich. Ohne Subwoofer liegt bei den M-F3A Pro die untere Eckfrequenz bei ca. 110 Hz, wenn man den Punkt von -6 dB zu Grunde legt. Ein spezielles Fullrange-Setup für die M-F3A Pro gibt es nicht.



Durchverkabelung der Tops den Regenschutz hätten wir etwas sauberer fürs Foto entfalten können



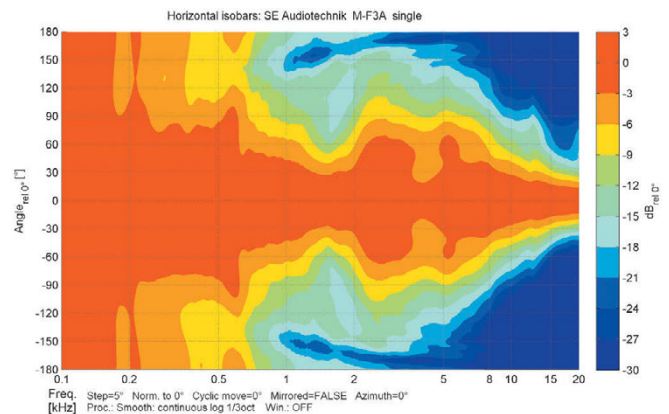
Chassis-Fertigung auch die Fertigung der Elektronikmodule und der Lautsprecherkomponenten erfolgt im eigenen Werk in der Nähe von Shanghai



Spektrogramm der M-F3A Pro mit Subwoofer S12 Pro. Der Lautsprecher zeigt ein nahezu makellooses Ausschwingverhalten. Lediglich bei 500 Hz ist eine winzige Resonanz zu beobachten (Abb. 7)

Die zugehörigen Phasengänge mit und ohne Subwoofer S12 Pro finden sich in Abb. 6. Beginnt man die Betrachtung von den tiefen Frequenzen aus, dann sind in der Kombination mit Subwoofer bis 300 Hz $3 \times 360^\circ$ Phasendrehung zu erkennen. Diese setzen sich zusammen aus den jeweils 360° des akustischen Hochpasses 4. Ordnung in Form des Bassreflexgehäuses des Subwoofers, dem elektrischen Hochpassfilter 4. Ordnung für den Subwoofer mit einer Eckfrequenz von ca. 35 Hz und der Frequenzweichenfunktion ebenfalls 4. Ordnung zwischen Subwoofer und Topteil bei 120 Hz. Im weiteren Verlauf kommen dann nochmals 540° hinzu, die sich aus dem Übergang vom Tiefmitteltöner zum Hochtöner und dem akustischen Hochpassverhalten des Hochtöners ergeben.

Abweichungen im Frequenzgang können verschiedenste Gründe haben. Gehäuseresonanzen und Partialschwingungen der Membranen sind dabei die häufigsten Ursachen. Letztere treten vor allem dann auf, wenn große Membranen hohe Frequenzen abstrahlen sollen und so die Membranen zu Partialschwingungen angeregt werden. Die Tiefmitteltöner der M-F3A mit ihren 2,8" großen (oder besser gesagt: kleinen) Membranen verarbeiten den für sie vorgesehenen Frequenzbereich bis 2 kHz natürlich völlig problemlos. Die daran anschließende Hochtoneinheit mit 1"-Gewebekalotten ist unter diesem Aspekt schon vom Prinzip her einem Kompressionstreiber überlegen, da die Membranen sehr viel kleiner sind und es keine Kompressionskammer und auch kein Waveguide zur Erzeugung einer ebenen Wellenfront gibt. Entsprechend gut fällt das Spektrogramm aus Abb. 7 aus. Bis

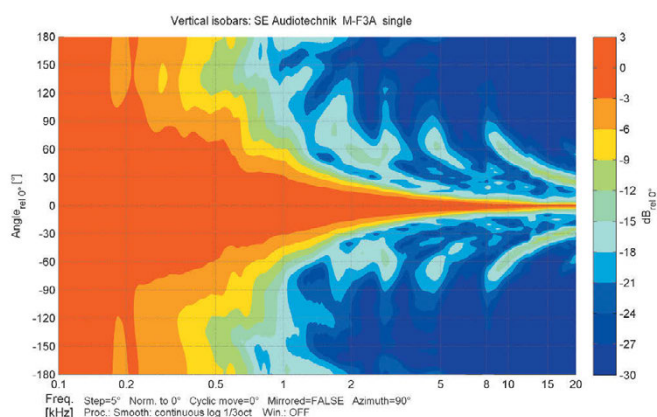


Horizontale Isobaren der M-F3A Pro mit einem nominellen Abstrahlwinkel laut Datenblatt von 120° , der im Mittel ab 1 kHz aufwärts erreicht wird (Abb. 8)

auf eine winzige Resonanz bei 500 Hz kann man das Ausschwingverhalten der M-F3A Pro inklusive des Subwoofers S12 Pro als vorbildlich bezeichnen. Das lange Nachschwingen bei tiefen Frequenzen entsteht durch den Anstieg der Gruppenlaufzeit, die – bedingt durch die Phasendrehungen der diversen Filter – bis auf 40 ms bei 40 Hz ansteigt. Möchte man einen Subwoofer mit Bassreflexgehäuse durch ein zusätzliches elektrisches Hochpassfilter schützen, dann sind die starken Phasendrehung unvermeidlich.

Directivity horizontal und vertikal

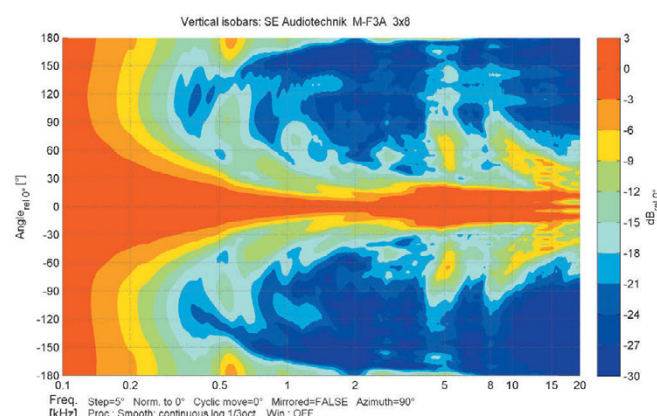
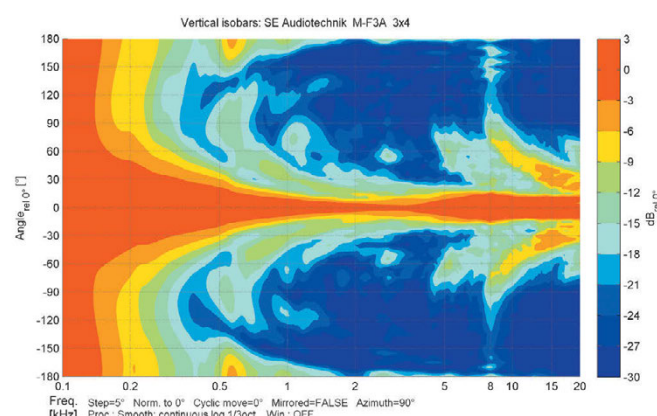
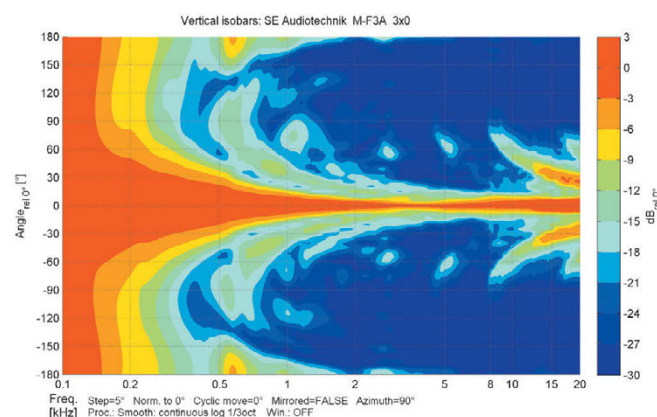
Bei der Directivity gibt es für einen Line-Array-Lautsprecher verschiedene wichtige Aspekte. Ähnlich wie bei einem Point-Source-System sollte das horizontale Abstrahlverhalten für einen definierten Winkel möglichst gleichmäßig sein. Für Winkelung in der Vertikalen gelten die für diskrete Linienquellen bekannten Regeln: Die einzelnen Quellen in ihrem Frequenzbereich sollten nicht weiter als eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt sein. Und der Splay-Winkel zwischen den Boxen sollte nicht größer als 3° dividiert durch die Höhe (in Metern) eines Elementes ausfallen. Beides ist für die M-F3A Pro gut erfüllt: Die Gehäusehöhe beträgt 0,317 m und der maximale Splay der Flugmechanik beträgt 8° . Nach der Berechnung wären maximal $9,5^\circ$ zulässig. Den Abstand der Einzelquellen betreffend, beträgt dieser bei den Tiefmitteltönern 8 cm und bei den Hochtönern 4,5 cm. Bei einer Trennfrequenz von 2 kHz erfüllen die Tiefmitteltöner das Kriterium vollständig und die Hochtöner bis knapp unter 4 kHz.



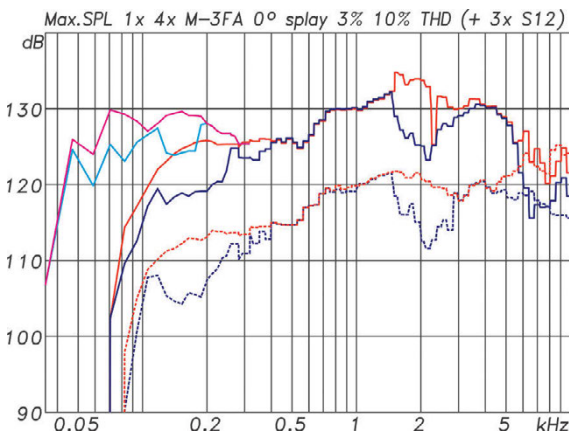
Vertikale Isobaren einer einzelnen M-F3A Pro. Bedingt durch den Abstand der Hochtöner von ca. 45 mm zueinander entstehen ab 4 kHz aufwärts (bei $\pm 90^\circ$ beginnend) auf das Hauptmaximum zulaufende Nebenmaxima. Überlagert durch das Richtverhalten der einzelnen Quellen fallen diese jedoch im Pegel gemäßigt aus (Abb. 9)

Sieht man sich dazu das vertikale Isobarendiagramm aus Abb. 9 an, dann fallen die durch den Quellenabstand bedingten Nebenmaxima mit Pegeln von -10 dB und weniger in Relation zur Mittelachse gemäßigt aus. Die Begründung dafür erkennt man knapp unterhalb von 8 kHz, wo die Wellenlänge genau dem Abstand der Hochtöner zueinander entspricht. Hier addieren sich die Anteile aller Hochtöner unter einem Winkel von $\pm 90^\circ$ perfekt. Wären die Hochtöner ideale Kugelquellen, dann würden bei $\pm 90^\circ$ zwei neue Maxima entstehen, die im Pegel dem 0° -Hauptmaximum entsprechen würden. In der Realität überlagert sich dem Abstrahlverhalten der Anordnung im Ganzen aber noch das Abstrahlverhalten der Einzelquellen. Da die mit einem kleinen Waveguide ausgestatteten Hochtöner jedoch bei 8 kHz bereits eine recht ausgeprägte Richtwirkung aufweisen, werden die $\pm 90^\circ$ -Nebenmaxima damit deutlich reduziert. Wie sich ein einzelner Hochtöner bei 8 kHz verhält, lässt sich im horizontalen Isobarendiagramm bei 8 kHz ablesen. Unter $\pm 90^\circ$ ist der Pegel gegenüber der Mittelachse schon um 15 dB reduziert. Oberhalb von 8 kHz wandern diese Maxima auf die Mittelachse zu und steigen dann auch im Pegel noch etwas an, da die Richtwirkung der Einzelquelle bei kleineren Winkeln nachlässt.

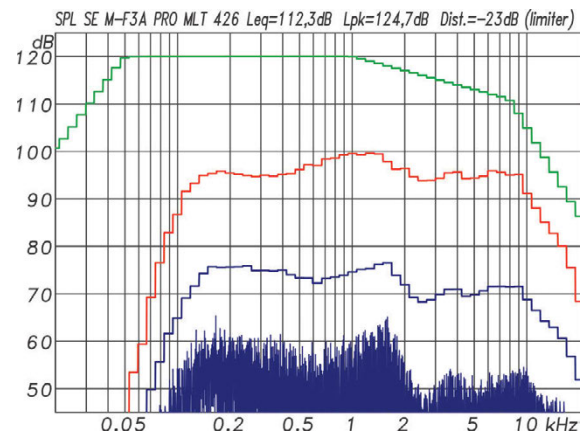
Noch einmal zurück zu Abb. 8 mit den horizontalen Isobaren, erkennt man hier einen kleinen Nachteil gegenüber den sonst üblichen Kompressionstreibern mit Waveguide und horizontalem Hornansatz: Das horizontale Abstrahlverhalten der M-F3A entspricht dem eines klassischen 2-Wege-Systems mit Konus-



Vertikale Isobaren von drei M-F3A Pro mit Splay-Winkeln von 0° , 4° und 8° . Die Nebenmaxima treten jetzt etwas stärker auf. Das Hauptmaximum weitet sich entsprechend der Splay-Winkel auf und bleibt auch bei 8° noch bis 15 kHz zusammenhängend (Abb. 10)



Maximalpegel ermittelt mit einer Sinusburst-Messung für höchstens 3% (blau) oder 10% (rot) Verzerrungen. Für eine einzelne M-F3A Pro (gestrichelte Linien), für vier M-F3A Pro (durchgezogene Linien) und mit drei Subwoofern S12 Pro (<300 Hz) Abb. 11



Multitonmessung mit EIA-426B Spektrum und 12 dB Crestfaktor. Eine einzelne M-F3A Pro erreicht dabei einen Mittelungspegel von 112,3 dB und einen Spitzenpegel von 124,7 dB bei -23 dB Verzerrungsanteil (TD), Abb. 12

tieftöner und Kalottenhochtöner. Die in der Horizontalen recht ausgedehnte Anordnung mit zwei Tieftönern bedingt bis zur Trennfrequenz bereits eine gewisse Einschnürung der Isobarenkurven bis auf ca. 80°. Bei 2 kHz, wo die Kalotten übernehmen, weiten sich die -6 dB Isobaren dann wieder bis auf 160° auf, um sich darüber hinaus wieder einzuschnüren. Im Mittel resultiert daraus der im Datenblatt angegebene horizontale Abstrahlwinkel von 120°. In Punkto Gleichmäßigkeit erreicht man damit jedoch nicht das von Line-Arrays mit Waveguides und horizontalen Hornansätzen bekannte Verhalten. In wieweit daraus, wenn überhaupt, ein Nachteil resultiert, muss man vermutlich von Fall zu Fall entscheiden

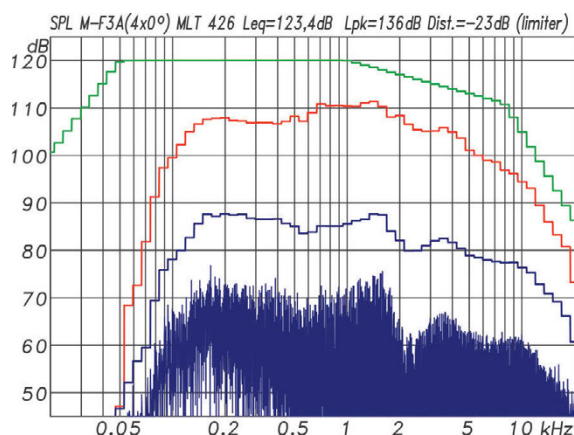
Substanziell wichtig für ein Line-Array ist das Zusammenspiel mehrerer Elemente im Array. Wie sich das M-F3A Pro dabei verhält, haben wir mit drei Elementen für Splay-Winkel von 0°, 4° und 8° auf dem Drehteller nachgemessen. Im 3er-Array treten die Nebenmaxima auf den ersten Blick etwas stärker in Erscheinung, was aber nur in der relativen Darstellung zum Hauptmaximum bei 0° so erscheint. Bei großen Arrays wird der Pegel auf der Mittelachse abhängig von der Messentfernung durch Laufzeitunterschiede und Winkelabhängigkeit der einzelnen Quellen bei hohen Frequenzen geschwächt. Für die Nebenmaxima ±90° trifft das in der Form nicht zu, so dass sie in einer auf die 0°-Achse bezogenen Darstellung jetzt stärker hervortreten. Das Hauptmaximum selbst verbreitert sich entsprechend der eingestellten Splay-Winkel in vorbildlicher Weise. Die Isobarenfläche um die 0°-Achse

bleibt auch bei einem maximalen Splay-Winkel von 8° sehr schön gleichmäßig und zusammenhängend. Mit drei M-F3A Pro lässt sich so ein Winkel von bis zu ca. 35° in der Vertikalen abdecken.

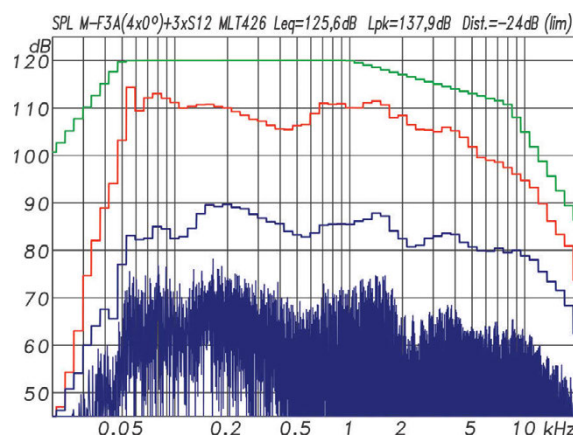
Zusammenfassend könnte man somit festhalten, dass der Einsatz von Kalotten-Arrays in einem Line-Array durchaus eine Alternative zu Kompressionstreibern mit Waveguides darstellt. Dem etwas ungleichmäßigeren Abstrahlverhalten in der Horizontalen steht ein sehr gut skalierbares und gleichmäßiges vertikales Abstrahlverhalten gegenüber. Wie verhält sich nun das Kalotten-Array beim Thema Maximalpegel und Verzerrungen?

Maximalpegel des Kalotten-Arrays

Gemeinhin gibt es die Meinung: „Kalotten als Hochtöner klingen nett, können aber nicht laut und vertragen auch nur wenig Leistung. Kompressionstreiber mit Horn sind dagegen laut und vertragen hohe Leistungen.“ Im 1:1-Vergleich trifft das auch weitgehend zu. In der M-F3A Pro oder anderen mit Kalotten-Arrays aufgebauten Line-Arrays stehen in der Regel jedoch sieben oder acht Kalotten einem großen oder auch zwei kleinen Kompressionstreibern gegenüber. Schaut man dann zunächst einmal nur auf die Belastbarkeit und setzt pro Kalotte 10 W an, dann sind das in der M-F3A Pro 70 W in der Summe, was ziemlich genau dem entspricht, was man auch von zwei kleinen oder einem großen Kompressionstreiber kennt. Um die thermische Langzeitbelastbarkeit der Kalotten



Multitonmessung mit EIA-426B Spektrum und 12 dB Crestfaktor. Ein Array mit vier M-F3A erreicht dabei einen Mittelungspegel von 123,4 dB und einen Spitzenpegel von 136 dB bei -23 dB Verzerrungsanteil (TD). (Abb. 13)



Multitonmessung mit EIA-426B Spektrum und 12 dB Crestfaktor. Ein Array mit vier M-F3A Pro und die S12 Pro erreicht dabei einen Mittelungspegel von 125,6 dB und einen Spitzenpegel von 137,9 dB bei -24 dB Verzerrungsanteil (TD), Abb. 14

in der M-F3A zu erhöhen, sind die Neodymmagnete der Kalotten mit Kühlprofilen bestückt. Gleiches gilt auch für die Mitteltieftöner. Bei der Sensitivity erreicht das Kalotten-Array mit mittleren 103 dB 1 W/1 m zwar nicht ganz die Werte eines Kompressionstreibers, bleibt dafür aber bis über 15 kHz auf diesem Niveau mit einem insgesamt gleichmäßigeren Frequenzgang, da weder eine Kompressionskammer noch ein Waveformer im Spiel sind. Bleibt die Frage: Welchen Maximalpegel erreiche ich im praktischen Einsatz mit einem Line-Array, das im Hochtonbereich anstelle der üblichen Kompressionstreiber mit einem Kalotten-Array arbeitet?

Eine objektive Aussage dazu liefern unsere Messungen, für die wir schon seit längerer Zeit zwei Methoden zur messtechnischen Bestimmung des Maximalpegels von Lautsprechern einsetzen: Zum einen die Messung mit 185 ms langen Sinusburst-Signalen. Hier wird der Pegel mit einem Sinussignal für eine Frequenz so lange erhöht, bis ein bestimmter Verzerrungsanteil, typisch 3% oder 10%, erreicht wird. Der dabei gemessene Schalldruck als Mittelungspegel für die Dauer der Messung wird als Messwert festgehalten. Diese Messung wird über einen zu definierenden Frequenzbereich in Frequenzschritten von 1/12 Oktaven durchgeführt. Abb. 11 zeigt dazu drei Messreihen. Für jeweils maximal 3% und 10% Verzerrungen werden die Maximalpegelwerte für eine einzelne M-F3A Pro, für ein Array mit vier M-F3A Pro und für das Array in Kombination mit drei Subwoofern S12 Pro gezeigt. Diese Kombination aus vier M-F3A Pro und drei S12 Pro wird bei SE als Mini-System für Clubs und kleine Konzertbühnen

empfohlen. Die Messwerte zeigen für diese Kombination Pegelwerte um die 130 dB Linie. Dort, wo die 3% und 10% zusammenfallen, wurde das Erreichen der 10% Verzerrungen durch einen internen Limiter verhindert. Schwächen im Hochtonbereich gibt es keine. Lediglich in den Low-Mids zwischen 200 und 600 Hz fällt die Kurve um einige dB ab, da hier die Treiber an ihre Grenzen stoßen. Ohne Subwoofer setzt sich diese Tendenz dann auch zu tieferen Frequenzen hin fort. Die Kurven der einzelnen M-F3A Pro lassen noch deutlicher erkennen, dass die Hochtoneinheit sehr gut mit den Tiefmitteltönern mithalten kann und auch noch Reserven im Array hat, wenn die Tiefmitteltönern verstärkt von der akustischen Kopplung profitieren können.

Eine zweite für die Praxis noch etwas aussagekräftigere Maximalpegelmessung ist die Multitonmessung. Die Basis des Multitonsignals besteht aus 60 Sinussignalen mit Zufallsphase, deren spektrale Gewichtung beliebig eingestellt werden kann. Für die in den Abbildungen 12 bis 14 gezeigten Messungen wurde eine Gewichtung entsprechend eines mittleren Musiksignals (grüne Kurve) gewählt. Der Crestfaktor, des so synthetisierten Messsignals, der das Verhältnis vom Spitzenwert zum Effektivwert beschreibt, liegt bei einem praxisgerechten Wert von 4 entsprechend 12 dB.

Für den aus dieser Art der Messung abgeleiteten Verzerrungswert werden alle Spektrallinien aufaddiert, die nicht im Anregungssignal vorhanden sind, d. h. die als harmonische Verzerrungen oder als Intermodulationsverzerrungen hinzu-

gekommen sind. In der Grafik sind das die blauen Linien und deren Summenkurve in 1/6 Oktav breiten Frequenzbändern. Wichtig ist es dabei zu beachten, die Frequenzen des Anregungssignals so zu generieren, dass sie nicht mit den harmonischen Verzerrungsanteilen zusammenfallen, da sie sonst nicht mehr ausgewertet werden könnten. Auch bei dieser Art der Messung wird der Pegel so lange erhöht, bis der Gesamtverzerrungsanteil (TD = Total Distortions) einen Grenzwert von 10% erreicht oder ein Limiter keine weitere Pegelerhöhung mehr zulässt. Bei den Gesamtverzerrungen werden alle harmonischen Verzerrungsanteile (THD) und auch die Intermodulationsverzerrungen (IMD) berücksichtigt. Unter diesen Bedingungen erreichte eine einzelne M-F3A für ein typisches Musikspektrum nach EIA-426B bezogen auf 1 m Entfernung im Freifeld unter Vollraumbedingungen einen Spitzenpegel von 124,7 dB und einen Mittelungspegel von 112,3 dB. Im Datenblatt werden 129 dB Spitzenpegel angegeben, die jedoch mit einem Pink-Noise-Signal und ohne Verzerrungslimit gemessen wurden, womit sich der um 4 dB höhere Wert im Vergleich zur Messung mit einem Spektrum nach EIA426B erklärt. Eine Messung nach der M-Noise-Methode mit maximal 2 dB breitbandiger Kompression liefert für eine M-F3A Pro einen Wert von 126 dB.

Weitere Multitonmessungen wurden für ein Array mit vier M-F3A Pro und für die Mini-System-Kombination mit drei zusätzlichen Subwoofern S12 Pro durchgeführt. Der mit vier M-F3A Pro erreichbare Spitzenpegel lag bei 136 dB und zusammen mit den Subwoofern bei 138 dB. Der Gewinn durch die drei Subwoofer fällt messtechnisch nicht so groß aus, wie es der Höreindruck erwarten lässt, da die zusätzlichen 1,5 Oktaven am unteren Ende des Frequenzbandes in Relation zum gesamten Frequenzbereich nicht so sehr ins Gewicht fallen. Einen Pegelgewinn durch eine Entlastung der Topteile gibt es in diesem Fall auch nicht, da die M-F3A Pro mit oder ohne Subwoofer immer mit der gleichen Einstellung und Hochpassfilterung betrieben werden.



Hörtest mit Entwickler Michael Kapp, Audio-Applikations-Ingenieur Ugis Vilcans und Anselm Goertz



Ein Teil des Solinger Audio-Teams Andreas Matten (Verkaufs-Innendienst-Koordinator), Ugis Vilcans (Audio Applikations-Ingenieur), Esteban Andres Gacome (Junior Audio-Ingenieur), Sebastian Thiel (Logistik-Manager), Harold Corneau (Audio-Ingenieur), Michael Kapp (Senior Audio-Ingenieur), Markus Schmittinger (Geschäftsbereichsleiter SE Audiotechnik), Jose Miguel Cadavid (Junior Audio-Ingenieur)

Hörtest in Solingen

Im Sommer 2019 bestand die Möglichkeit einer Hörprobe des M-F3A Pro mit zwei Mini-System-Kombinationen im Solinger Demoraum der SE Audiotechnik. Der akustisch gut konditionierte Raum mit Bühne ermöglicht eine neutrale Bewertung des Systems unter realistischen Bedingungen. Die aus den Messwerten abgeleiteten Erwartungen erfüllten sich gut. Das System spielte mit allen Arten von Musik kräftig, laut und dabei immer angenehm und niemals aufdringlich. Die in einer Cardioid-Anordnung aufgebauten Subwoofer lieferten einen trockenen und präzisen Bass, ohne den Raum unnötig anzuregen. Die Hörprobe konnte damit als rundum gelungen bezeichnet werden. Nebenbei gab es auch noch einen regen Austausch mit den anwesenden Entwicklern und Vertrieblern, als Audio-Applikations-Ingenieur steht beispielsweise Ugis Vilcans den Kunden mit Rat und Tat zur Seite. Geschäftsbereichsleiter SE Audiotechnik ist seit Sommer 2019 Markus Schmittinger.

Neben dem in Solingen vorgeführten und gemessenen Mini System schlägt der SE Prospekt zum M-F3A auch noch das Micro System bestehend aus je einem S12 Subwoofer mit Stativstange, U-Bracket und zwei M-F3A Topteilen und das große Introduction System vor. Letzteres war auf der diesjährigen PLS in Frankfurt auf dem Freigelände zu hören. Der Aufbau war mit zwei Line-Arrays a acht M-F3A bestückt und wurde im Bass durch zwölf S12 Subwoofer pro Seite in einer 6+6 Endfire Anordnung unterstützt. Wenngleich optisch sehr unauffällig, konnte sich das M-F3A in einem Umfeld mit teilweise sehr viel größeren Systemen gut behaupten. Wer die Situation auf dem Freigelände der PLS in Frankfurt kennt, weiß um die oft überzogenen Einstellungen mit erheblich zu viel Bass und den immer wiederkehrenden gleichen Musikstücken. Die SE Demo fiel auch unter diesem Aspekt positiv auf. Das M-F3A System spielte auf dem großen Gelände ausgeglichen ohne Übertreibungen, mit großer Reichweite und angenehmem Klang. An dieser Stelle könnte man auch von HiFi Klang sprechen, was durchaus zutreffend wäre, aber auch gerne missverstanden wird.

Fazit

Mit dem M-F3A der zweiten Generation als „Pro“-Modelle bringt der Solinger Hersteller SE Audiotechnik ein kompaktes Line-Array auf den Markt, das sich für verschiedenste Anwendungen von kleinen Bühnen und Clubs bis hin zu kleineren Open-Air-Veranstaltungen eignet. Der Aufbau und die Handhabung gestalten sich dank des voll aktiven Konzeptes



Nach der Firmengründung in Solingen setzte Michael von Keitz bald auf eigene Fertigung in China

mit einfachen Einstellungen und der gut durchdachten Mechanik schnell und leicht. Die nur 8,3 kg wiegenden Topteile sind auch allein in kürzester Zeit zum Array zusammengestellt und aufgebaut. Gleiches gilt für die Subwoofer S12 Pro, die im Groundstack betrieben werden und mit der komplett integrierten Mechanik sicher und schnell aufgebaut werden können. Die Messwerte sind nahezu durchgängig makellos. Gleiches gilt für den Höreindruck, wo das M-F3A Pro voll überzeugen kann. Das Kalotten-Array besticht durch einen besonders angenehmen und sauberen Klang, und das auch bei hohen Pegeln.

Für die Planung von Installationen mit dem M-F3A Pro gibt es zur einfachen Simulation der Direktschallverhältnisse Daten in EASE Focus 3, die für komplexere Planung im Zusammenhang mit der Raumakustik selbstverständlich auch im EASE eingesetzt werden können. Die zum M-F3A Pro gehörige EASE-GLL-Datei lieferte bei der Maximalpegelbestimmung exakt die auch im Labor gemessenen Pegelwerte für den Mittlungspegel L_{eq} bei 12 dB Crestfaktor.

[...]