



FÖÖN CLiA

Das Compact Line Array, kurz CLiA, verdient den Namen „kompakt“: Eine CLiA-Line ist gerade einmal 16 cm breit und macht vor allem durch eine Wiedergabelautstärke auf sich aufmerksam, die man auf den ersten Blick nicht erwartet.

Beim Blick in das Innere einer CLiA zeigt sich, woher die Leistungsfähigkeit der Lautsprecher kommt: In dem 29,5 × 16 × 29,5 cm großen Gehäuse befinden sich zwei 5,6"-Tief-/Mitteltontreiber und acht 1"-Kalottentreiber. Die Größenordnung der Räume und Hallen, die mit den CLiA zu beschallen sind, hängt in erster Linie von der Anzahl der Module ab. Einzeln gestellt sind sie z. B. auch zur Beschallung eines Seminarraums geeignet. Zur Tanzflächenbeschallung bei der Mayday (Halle 2 in diesem Jahr und Halle 3 im Jahr 2005) kamen in den Hallen Linien aus je zehn Modulen zum Einsatz; mit Linien aus 16 Modulen als Haupt-



beschallung sind auch Säle mit einer Kapazität um die 2000 Personen zu beschallen. Die maximale Anzahl der Module pro Linie liegt bei der Nutzung der zum System gehörenden Flug-Hardware bei 24. Gerade wenn es um mobile oder fest installierte Beschallung in einer architektonisch anspruchsvollen Umgebung geht, bei Gala-Veranstaltungen oder Präsentationen, in Theatern oder Festsälen, erleichtert die Schlankheit der Linien die unauffällige Integration. Je nach Anforderung sind die CLiA mit Subwoofern zu unterstützen. Für Sprachwiedergabe und dezente Musikeinspielungen lassen sie sich alleine verwenden, ansonsten bietet sich die Nutzung der Bässe aus dem Hause FÖÖN an, z. B. der E12 (horngeladen 1 x 12") oder der E24 (horngeladen 2 x 12").

Konzept und Entwicklung

Bei der Anzahl der Treiber stellt sich natürlich die Frage, wie und mit welchem Konzept diese alle in dem kleinen Gehäuse untergebracht sind. Daher soll es zunächst kurz um die Entwicklungsidee als solches und deren Umsetzung gehen, die der Ent-

wickler und Firmeninhaber Karl-Heinz Kuntze uns beim Testtermin näher erläuterte. „Wave-Former mit Druckkammertreibern, dazu 8"- oder 10"-Treiber - diese Komponenten waren in vielen kompakten Line-Arrays zu finden, als ich mit der Entwicklung begann. Daraus resultierten Module, die eigentlich zu groß und zu schwer für viele Anwendungen waren“, erklärte Karl-Heinz Kuntze. „Die Basis der Entwicklung waren Gespräche mit Planern und Anwendern, die Grundidee ein Modul, das die weniger praxisnah erscheinenden Eigenschaften anderer kompakter Line-Arrays nicht enthält und gleichzeitig die Stärken der Line-Array-Technologie konsequent in den Vordergrund stellt. Dabei ging ich davon aus, dass zur Unterstützung im Tieftonbereich ein zusätzlicher Bass genutzt wird, der nicht geflogen werden muss.“

Die Entwicklung begann mit der Suche nach dem passenden Tief-/Mitteltonsystem. Da ein 10"-Treiber in einem kleinen Volumen unterhalb von 100 Hz auch keine ernsthaft zur Beschallung verwertbaren Pegel produziert (die den Verzicht auf einen zusätzlichen Subwoofer ermög-

lichen würden), gleichzeitig aber schon eine Breite des Gehäuses von mehr als 25 cm erzwingt, erschien die Nutzung von übereinander angeordneten 5,6"-Treibern als echte Alternative, die so schon vom Prinzip her den Ansatz einer Linie bilden. Der zweite Schritt war die Entscheidung gegen einen Druckkammertreiber mit vorgesehendem Wellenformer. „Druckkammertreiber sind in jedem Fall wesentlich lauter als der Tief-/Mitteltonweg, auch wenn man einen 10"-Treiber nutzt. Bei der Anpassung der Wege muss man dann den mit Material, Gewicht und Größe erreichten Pegel des Hochtonwegs wieder zurückfahren.“ Da der Abstand der Einzeltreiber maßgeblich für das Linienverhalten ist, lag der Einsatz von möglichst kleinen, übereinander positionierten Kalotten-Lautsprechern nahe. Das Prinzip wurde mit den kleinsten käuflichen Lautsprechern erprobt, und funktionierte. Die jetzt genutzten 1"-Treiber mit Neodym-Magnet werden eigens in Deutschland für das CLiA hergestellt. Sie sind in einer Aluleiste mit eingefrästem, kleinen Hornansatz montiert und mittig vor den 5,6"-Treibern platziert. „Vom Messen und Hören her erwies sich diese Position als wesentlich besser als eine Platzierung der Leiste neben den 5,6"-Treibern. Man hört so aus einer Quelle. Die Anordnung kann man als quasi-koaxial bezeichnen. Das Konzept ist Gegenstand eines Patents“, so Kuntze.

Auf der Rückseite der gerade mal 9,1 kg (inkl. Flying-Hardware) schweren Module ist neben zwei NL4-Buchsen ein Schalter zu finden, mit dem die Alternativen Single- und LA-Modus gewechselt werden. Die normale Betriebsart in einer Line-Array-Konfiguration ist der LA-Modus, bei dem laut Datenblatt der Abstrahlwinkel horizontal bei 110° und vertikal bei 10° liegt. Dementsprechend sind die Module oben und unten leicht trapezförmig gewinkelt, sodass bei aneinander liegendem Deckel und Boden eine Winkelung von 10° entsteht. Schaltet man in den Single-Modus, so verbreitert sich der vertikale Abstrahlwinkel auf 60°, sodass ein Modul auch alleine oder als Downfill genutzt werden kann. Die Verbreiterung wird durch eine 180°-Phasendrehung des jeweils zweiten 1"-Teibers von oben und von unten erreicht. Die an der Alu-Leiste festgeschraubten Hochtöner

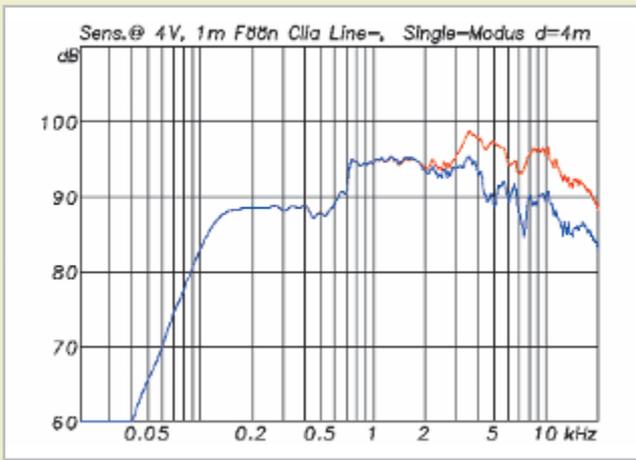


Abb. 1: Frequenzgänge eines CLiA-Moduls im Line- (rot) und Single-Modus (blau)

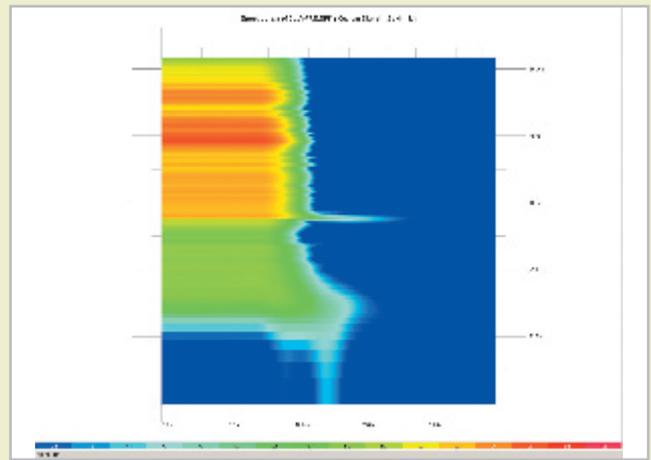


Abb. 2: Zerfallsspektrum eines CLiA-Moduls im Line-Modus. Neben der gewollten Bassreflexresonanz gibt es nur eine auffällige „Nase“ bei 700 Hz, die sich auch im Frequenzgang als Sprungstelle bemerkbar macht.

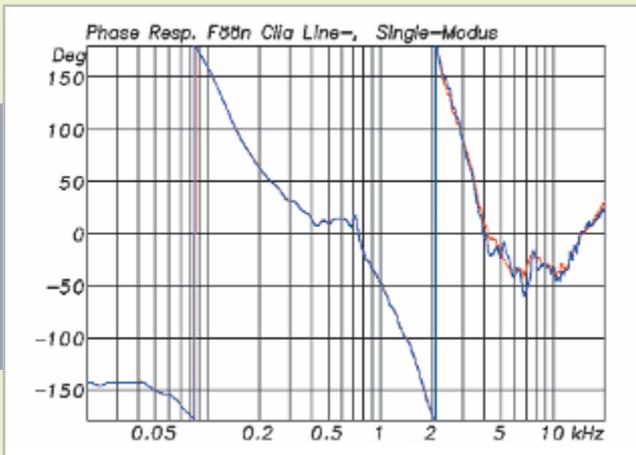


Abb. 3: Phasengänge eines CLiA Moduls im Line- (rot) und Single-Modus (blau)

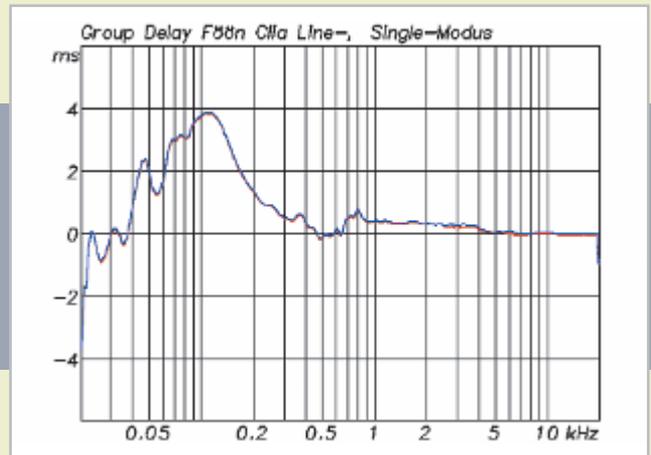


Abb. 4: Laufzeitdarstellung eines CLiA-Moduls im Line-Modus (rot) und im Single-Modus (blau)

sind mittels einer Platine an ihrer Rückseite in Reihe geschaltet. Über diese Platine wird auch die Verpolung des unteren und oberen Treiberchens beim Schalten in den Single-Modus realisiert.

Die Trennung zwischen Hoch- und Mittel/Tieftontreiber der passiven Module erfolgt intern bei 2,5 kHz mit Butterworth-Filtern 2. Ordnung (Flankensteilheit 12 dB/Oktave). Den 5,6"-Treibern ist ebenfalls ein ins Holz eingefräster Hornansatz vorgesetzt. Beim Einsatz zusammen mit Subwoofern empfiehlt Karl-Heinz Kuntze eine Trennfrequenz bei 120 Hz.

Mit einer Nennimpedanz von 16 Ohm sind bis zu acht Module an einer Endstufenseite zu betreiben, wenn diese eine Belastung von 2 Ohm verkraftet.

In der Standardausführung sind die beschichteten Multiplex-Gehäuse grau mit blauem Gitter und Alu-Anschlussplatte, die die gesamte Rückwand einnimmt, ausgeführt. Die mit Schaum hinterlegten Gitter sind Spezialanfertigungen mit einem Augenmerk darauf, möglichst schalldurchlässig zu sein. Die leicht gewölbten Gitter und der Schaum sind in einer Nut an der Vorderkante der Seitenwände festge-

klemmt. Auf Wunsch sind die CLiA aber auch in Schwarz (ohne Aufpreis) oder anderen RAL-Tönen erhältlich.

Flying-Hardware

Die Basis der Flug-Hardware bilden vier Schienen, jeweils vorne und hinten bündig in den Seitenwänden eingelassen. Sie sind aus speziellem Stahl, da normaler Baustahl zu dick und mächtig im Vergleich zu den kleinen Gehäusen gewirkt hätte. An der vorderen Schiene werden die so genannten Bumerangs festgeschraubt, mit denen die

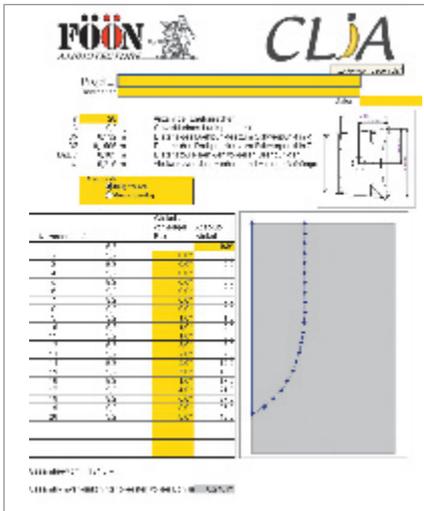


Abb. 19: In den gelben Feldern ist die Zusammenstellung der Linie zu definieren

Module vorne mit Kugelsperbolzen verbunden werden können. Die hinteren Schienen dienen zur Einstellung der Winkel mittels eines Stahlteils in Form einer Viertel-Ovals. Das Eckloch wird mit einem Kugelsperbolzen an der untern Box befestigt, mit der Wahl des entsprechenden Lochs zur Befestigung der oberen Box der Winkel festgelegt. Die elf Löcher für Winkel zwischen 0° und 10° in 1°-Schritten sind beschriftet.

Um nun die fertige Linie zu stellen oder zu hängen gibt es diverse Möglichkeiten. Ein wichtiges Element ist das so genannte Topteil, an dem das unterste oder oberste Modul befestigt wird. In 3°-Schritten lässt sich ein Winkel zwischen -15° und +12° ein-

stellen. Befestigt werden kann das Topteil mittels einer Klemmleiste an der Flugschiene. Mit zwei zusätzlichen Auslegern und vier höhenverstellbaren Füßen (verstellbare Höhe ca. 5 cm) bildet die Flugschiene auch die Basis zum Stellen einer Linie.

Durch drei Löcher im Boden des Topteils kann dieses bei Bedarf an anderes Flugequipment angeschraubt werden. Auf Wunsch werden in die FÖÖN-Bässe Schienen mit Gewinden eingelassen, so dass ein Topteil mit Modulen direkt auf einem Bass durch drei Flügelschrauben zu fixieren ist. Eine weitere Möglichkeit ist die Befestigung einer Hochständerhülse am Topteil. Um die Schrägstellung auszugleichen und die gewünschte Neigung einzustellen, kann z. B. ein König & Meyer-Boxenschrägsteller mit einer stufenlosen Neigung von 0°-15° genutzt und die CLiA auf einem Stativ platziert werden.

Natürlich sind die Befestigungsalternativen abhängig von der Anzahl der verwendeten Module. Geprüft sind die Elemente, Flugschiene, Ausleger, Klemmleiste und Topteil nach BGV C1. Die Belastungsanalysen-Software gibt u. a. an, bei welcher Anzahl und Winkelung die Grenzen überschritten werden. Die Kugelsperbolzen, eigentlich für zweischrittige Verbindungen gedacht, wurden ebenfalls extra bezüglich ihrer Verhaltens bei der einschrittigen Verbindung überprüft.

An der Entwicklung dieser vielseitigen Flug-Hardware war maßgeblich die TSE AG aus Berlin beteiligt, die zu den ersten Käufern der seit 2003 erhältlichen CLiA gehörten und ihre praktischen Erfahrungen in das Konzept einbrachten.

Berechnung Fluke:		Ausnutzungsgrad Ergebnis	
Eisenbeton:			
max Nd ges =	3,58 kN	NR,d ges =	48,6 kN
min Nd ges =	0,09 kN	NR,d ges =	-50,3 kN
Bumerang:			
max σ =	3,44 kN/cm ²		
max Nd ges =	1,24 kN	NR,d ges =	18,2 kN
			Array erfüllt BGV C1
			Array erfüllt DIN 18800
Berechnung Cradle:		Ausnutzungsgrad Ergebnis	
Langträger:			
Md (Einsträng):	-0,17 kNm	MR,d =	1,9 kNm
Md (Doppels):	0,39 kNm	MR,d =	1,9 kNm
Plate:			
Md =	-0,17 kNm	MR,d =	4,5 kNm
			Das Cradle erfüllt BGV C1
			Das Cradle erfüllt DIN 18800

EXPO Engineering, Suerkamp 14, D-69302 Oelde
Tel.: 02520/912 921 1 - Fax: 02520/912 921 3
www.expo-engineering.de

Abb. 20: Die Tabellen geben Auskunft über die auftretenden Kräfte. Werden die Grenzwerte zur konformen Nutzung nach BGV C1 oder DIN 18800 überschritten, wechselt die grüne Farbe und der Text zu rot.

Aufhängung

Einsträngige Aufhängung:

empfohlen: 2 Loch

gewähltes Loch: 2

empfohlener Cradlewinkel: 15°

Gewindestift: 7,0 mm

Differenzwinkel Δα: 0,132°

Zweisträngige Aufhängung:

gewählte Löcher: 1 (vorne) 4 (hinten)

Cradle Winkel: 1

Brückenhöhe: 0,39 m

L1 = 0,421 m

L2 = 0,455 m

Endwinkel β: 84,32°

beta1 = 41,20°

beta2 = 43,12°

F1 = 1,11 kN charakteristische Belastung

F2 = 1,24 kN charakteristische Belastung

Abb. 21: Auch zur ein- und zweisträngigen Aufhängung wird detaillierte Auskunft gegeben

Software zur Belastungsanalyse

Die Software zur Belastungsanalyse basiert auf dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel. Nach der Eingabe der Anzahl der Lautsprecher, der Anordnung – Flying Version oder Groundstacking – und der Winkel zwischen den Modulen werden die absoluten Winkel berechnet und das Curving visualisiert. Zwei Tabellen geben Auskunft zu den auftretenden Kräften und warnen in rot, wenn das Array nicht mehr den Anforderungen der BGV C1 oder DIN 18800 entspricht. Darunter werden Details zur

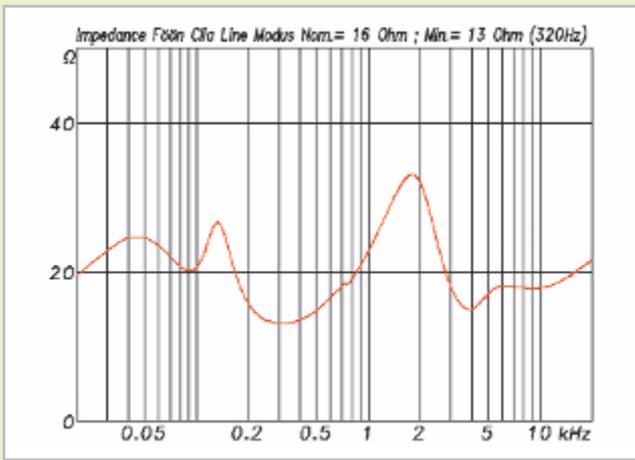


Abb. 5: Impedanzverlauf eines einzelnen CLIA-Moduls. Das Impedanzminimum liegt bei unkritischen und normgerechten 13 Ohm. Die Tuningfrequenz der Bassreflexabstimmung findet sich im lokalen Impedanzminimum bei 92 Hz

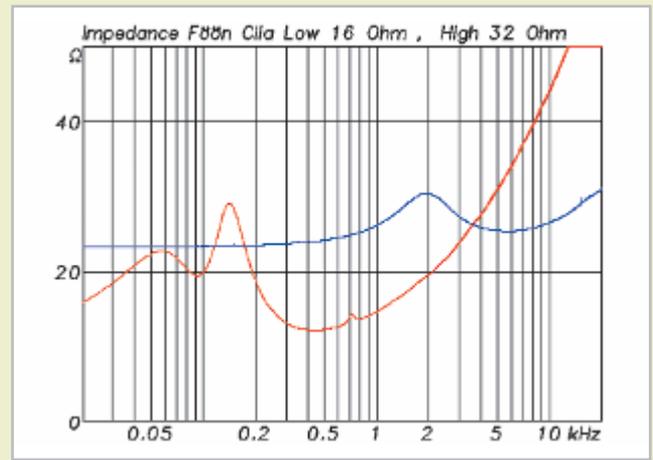


Abb. 6: Impedanzverläufe der einzelnen Wege eines CLIA-Moduls mit der 16-Ohm-Tieftoneinheit und der 32-Ohm-Hochtonsektion

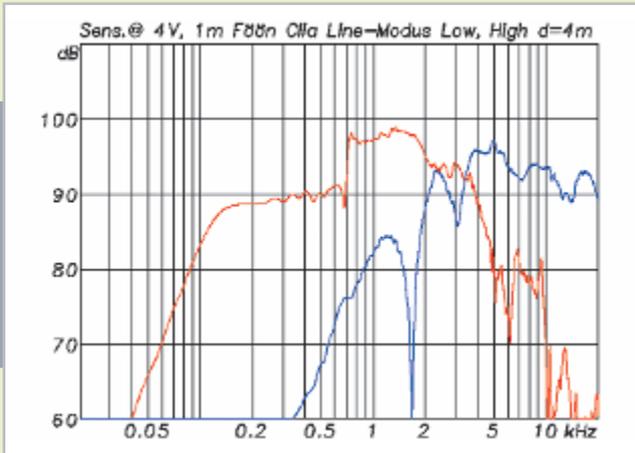


Abb. 7: Frequenzgänge mit Sensitivity der einzelnen Wege eines CLIA-Moduls ohne Weiche bezogen auf 4 V Eingangsspannung. Für den Wert 1 W/1 m sind entsprechend 3 dB mehr Pegel anzusetzen.

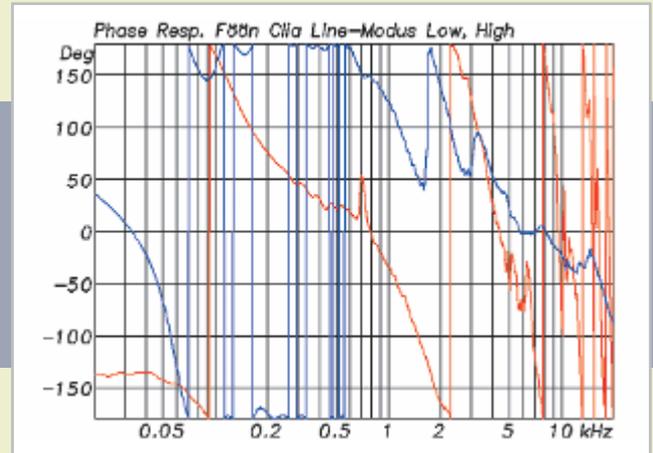


Abb. 8: Phasenverläufe der einzelnen Wege eines CLIA-Moduls ohne Weiche. Im Übergangsbereich bei 2,5 kHz passt die Phasenlage nicht ganz. Der steilere Verlauf der Kurve der Tieftöner (rot) weist auf einen kleinen Laufzeitversatz hin, der auch in den Impulsantworten zu erkennen ist

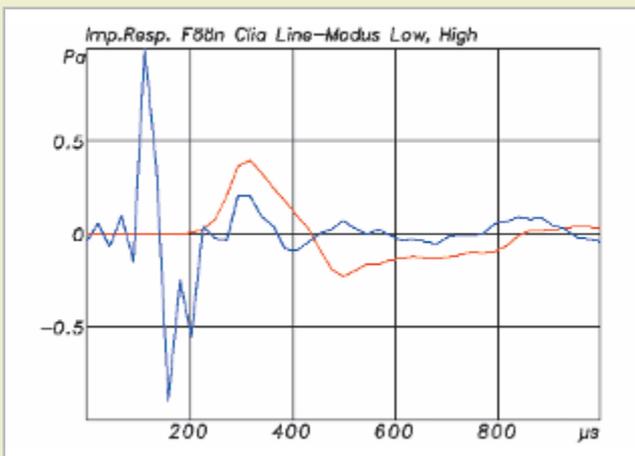


Abb. 9: Impulsantworten der Tiefton- (rot) und der Hochtoneinheit (blau). Der Versatz durch die räumliche Anordnung beträgt ca. 100 μ s entsprechend 34 mm

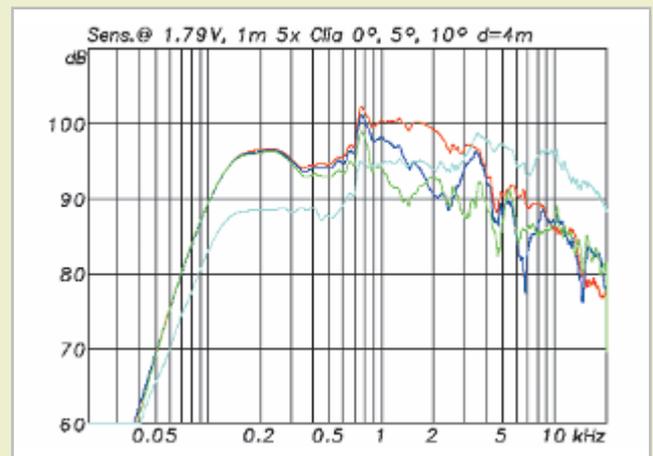


Abb. 10: Frequenzgänge einer 5er-Line mit 0° Winkeln (rot), 5° Winkeln (dunkelblau) und 10° Winkeln (grün) zueinander. Zum Vergleich die Kurve 1 W/1 m für ein einzelnes Modul (hellblau)

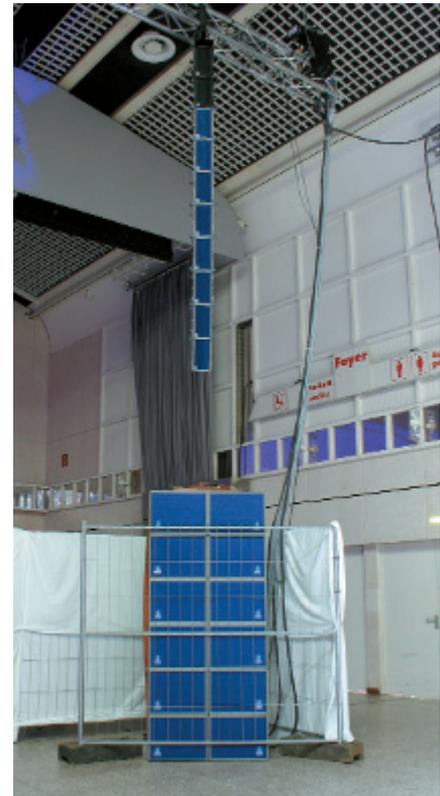
einsträngigen oder zweisträngigen Aufhängung inklusive grafischer Darstellung der Aufhängung gezeigt. Zusätzlich ist der Kräfteverlauf – Zug und Druck an der vorderen und hinteren Lautsprecheraufhängung der einzelnen Module sowie die Querkraft an den vorderen Lautsprecheraufhängungen – in einer Grafik zusammengefasst. Die Bedienung – an sich selbsterklärend – und die einzelnen angezeigten Parameter werden in einem zweiten Arbeitsblatt detailliert erläutert. Eine Software zur Berechnung der Direktschallverteilung existiert zur Zeit noch nicht. Geplant ist, dazu EaseFocus zu nutzen.

Controller und Filter

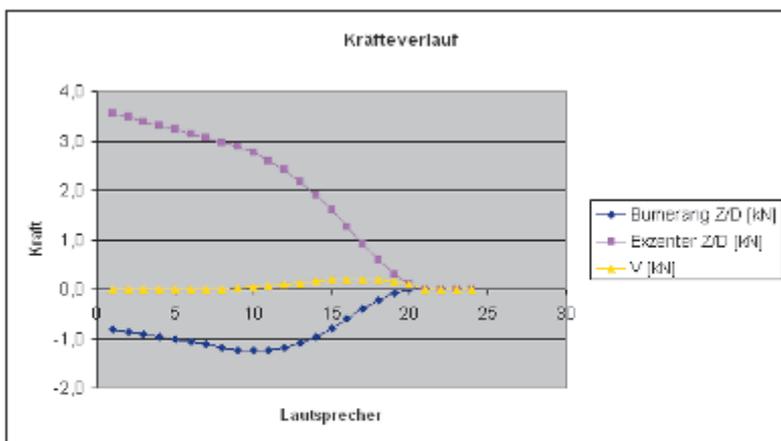
Bevor wir uns den Lautsprecher-Messwerten zuwenden, noch einige Worte zur Controller-Philosophie. Für alle Föön-Lautsprecher soll „weniger ist mehr“ gelten - je weniger gefiltert und kontrolliert werden muss, umso besser wird der Lautsprecher klingen - vorausgesetzt die Basis, also der Lautsprecher selber, ist in sich stimmig. Diesem Grundsatz folgt auch das CLiA, bei dem lediglich eine Trennfrequenz zu den optionalen Subwoofern von ca. 120 Hz empfohlen wird. Im Fullrange-Betrieb wird ein 80-Hz-Hochpassfilter und ein ein-

faches Shelving-Filter zur Kompensation der akustischen Kopplung in Abhängigkeit von der Länge einer Line aus CLiA-Systemen genommen. Ein bis zwei parametrische EQs können dann noch zum Feinabgleich eingesetzt werden, womit das System auch schon startklar wäre. Diese Filter lassen sich mit nahezu allen Controllern oder auch in den Auspielwegen der gängigen Digitalpulte ohne Probleme einstellen und sind bei Bedarf und etwas Übung auch schnell nach Gehör abgeglichen.

Wer es etwas genauer möchte, für den hat das CLiA zwei Optionen bereit, die den voll aktiven Betrieb unterstützen und die Möglichkeit einer sehr präzisen Filterung mit FIR-Filtern hoher Auflösung, die sowohl für den aktiven als auch für den passiven Betrieb mit und ohne Subwoofer eingesetzt werden können. Fertige Filter-Settings existieren für den Controller ProC 28 von Klein + Hummel, der in den vergangenen Jahren auch schon mit viel Erfolg beim Einsatz der CLiA-Lines auf der Mayday genutzt wurde. Neben den Vorzügen der FIR-Filterung bietet dieser Controller auch noch die Möglichkeit einer sehr präzisen Limitierung mit getrennten Einstellmöglichkeiten für einen Peak- und einen RMS-Limiter der Endstufen sowie einen Peak- und einen Thermo-Limiter für die Laut-



Zur Tanzflächenbeschallung auf der Mayday kamen Linien aus zehn Modulen mit zusätzlicher Bassunterstützung zum Einsatz.



Die Berechnungen stützen sich auf die vom Hersteller übermittelte Statische Berechnung des Systems Föön Cita Y2, vom Juli 2005.

Die Berechnungen ersetzen nicht eine Prüfung durch die Berufsgenossenschaften.

Abb. 24: Der Kräfteverlauf zeigt die Zug- und Druckkräfte bzw. die Querkräfte an den einzelnen Modulen

sprecher. Letzteres ist vor allem im Zusammenhang mit den kleinen 1"-Hochtontalotten wichtig, die so optimal in ihrer Leistungsfähigkeit ausgenutzt werden können. Sogar für die passive Betriebsart können in diesem Controller getrennte Limiter für die Hoch- und Tieftöner gesetzt werden, da der Controller intern den Topteilweg mit bis zu drei getrennten Frequenzbändern bearbeiten und limitieren kann. Als ein genereller Vorzug der aktiven Betriebsart ist in diesem Zusammenhang auch noch die genaue Laufzeitanpassung der beiden Wege im CLiA zueinander zu nennen.

Zum Thema Endstufen gibt es die Empfehlung, mindestens 200 Watt Leistung pro CLiA-Modul zur Verfügung zu haben, die an 16 Ohm geliefert werden sollten und sich optimaler Weise bis zu 2 Ohm hinab entsprechend steigern, sodass eine 8er-Linie mit CLiA dann mit 1,6 kW angesteuert werden kann.

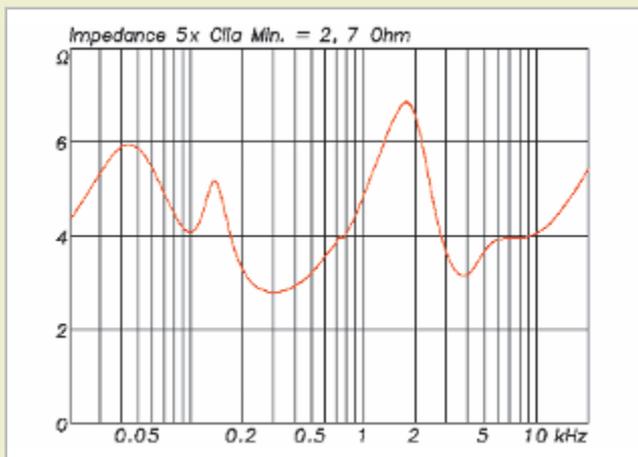


Abb. 11: Impedanzverlauf einer 5er-Line aus CLIA-Modulen mit einem Impedanzminimum von 2,7 Ohm und einer nominellen Impedanz von 3,2 Ohm

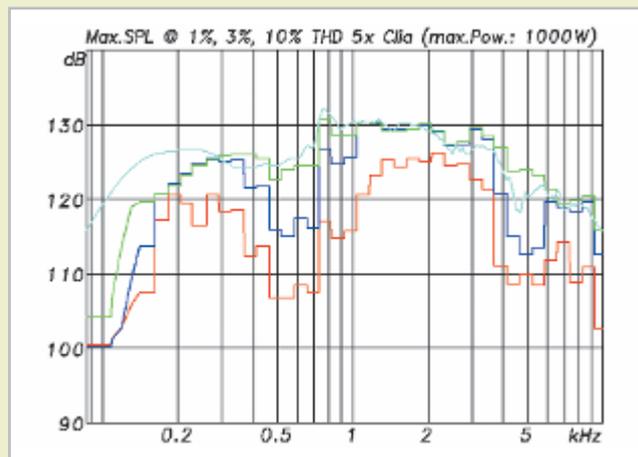


Abb. 12: Maximalpegel bei höchsten 1% (rot), 3% (dunkelblau) und 10% (grün) Verzerrungen. Zum Vergleich der aus der Sensitivity-Kurve und der maximal zugeführten Leistung von 1000 Watt berechnete Verlauf in hellblau

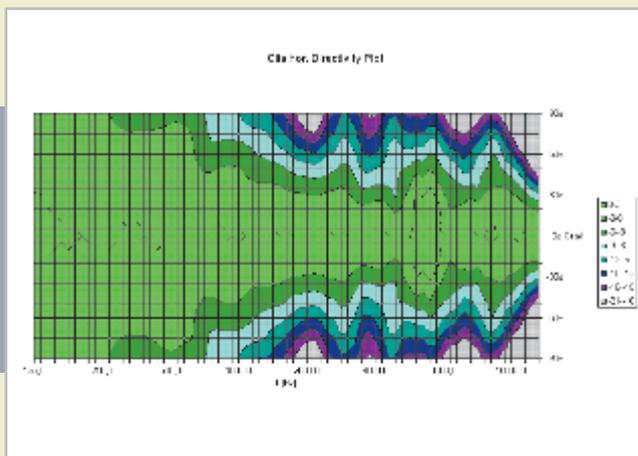


Abb. 13: Horizontale Isobaren eines CLIA-Moduls mit 110° nominellem Abstrahlwinkel

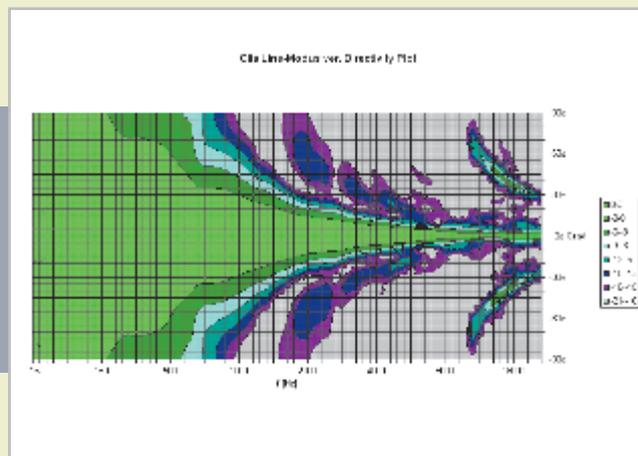


Abb. 14: Vertikale Isobaren eines Moduls im Line-Modus mit 10° nom. Abstrahlwinkel. Bei 2 kHz bilden sich die Nebenmaxima durch den Abstand der Tieftöner von ca. 15 cm zueinander heraus. Der gleiche Vorgang wiederholt sich bei den Hochtönern mit einem Abstand von 32,5 mm zueinander bei 10 kHz



Messwerte

Bei den Messungen wurde zunächst ein einzelnes CLIA-Modul in beiden Einstellungen (Line und Single) betrachtet. Abbildung 1 zeigt die zugehörigen Frequenzgänge, die sich bis zur Trennfrequenz gleichen und dann einen 6-dB-Pegelunterschied ausbilden. Im Single-Modus arbeitet effektiv nur noch die Hälfte der Hochtöner, wodurch exakt dieser Effekt entsteht. Unabhängig davon sind beide Kurven im Verlauf sehr gutmütig und vor allen Dingen frei von unschönen Interferenzeinbrü-

chen oder Artefakten durch Partialschwingungen. Die Sensitivity liegt im Mitteltiefenbereich mit 89 dB für die Größe der Lautsprecher beachtlich hoch und oberhalb von 700 Hz sind dann im Mittel 95 dB abzulesen. Sieht man sich das Spektrogramm aus Abbildung 2 dazu an, dann gibt es eigentlich nur eine Auffälligkeit bei 700 Hz, wo eine Resonanzspitze hervorspringt. Im Zusammenhang mit den Gehäuseabmessungen liegt der Gedanke an eine Längsmode oder einer Quermode von vorne nach hinten nahe. Letztere hätte

durch die Bassreflexöffnungen einen leichten Weg ins Freie und scheint daher besonders verdächtig. Im weiteren stellt sich das Spektrogramm absolut perfekt dar mit einem völlig sauberen Ausschwingverhalten bis zu den höchsten Frequenzen hin. An dieser Stelle dürfte auch die messtechnische Begründung für die klanglichen Vorzüge der Kalotten gegenüber klassischen Kompressionstreibern zu finden sein.

Im Phasengang aus Abbildung 3 zeigt sich das übliche Verhalten eines Bassreflexsystems mit 180° Phasendrehung bei der Tuningfrequenz von ca. 90 Hz und weiteren 360° im Übergang vom Tieftöner zum Hochtöner. Bei näherer Betrachtung fällt dieser Übergang etwas steil aus, was sich auch in der Laufzeitkurve aus Abbildung 4 zeigt, die bei 4 kHz einen kleinen Sprung erkennen lässt, der sich durch den räumlichen Versatz der Hochtöner vor den Tieftönern erklärt. Bei der Resonanz um 700 Hz gibt es dann zwangsläufig auch noch eine entsprechende Unstetigkeitsstelle im Phasenverlauf und den daraus resultierende Sprung in der Laufzeitkurve. Der Anstieg der Laufzeit zu den tiefen Frequenzen fällt mit nur 4 ms äußerst gering aus, was nicht weiter verwundert, da die untere Eckfrequenz mit ca. 90 Hz hoch liegt und keine zusätzlichen elektrischen Filter im Spiel sind.

Im Impedanzverlauf erklärt sich das CLiA als echtes 16-Ohm-System mit einem normgerechten Impedanzminimum (maximale Unterschreitung der Nennimpedanz um 20%) von 13 Ohm bei 320 Hz. Man darf demnach guten Gewissens die unterste Lastimpedanz der Endstufen durch entsprechende Parallelschaltung von CLiAs ausnutzen, ohne dass man Gefahr läuft die Endstufe partiell zu überlasten.

Aktives System

Die Grafiken 6 bis 9 zeigen Einzelmessung der CLiA-Tieftöner und -Hochtöner ohne passive Filter, so wie sie für den aktiven Betrieb eingesetzt werden. Die Impedanzverläufe weisen die Hochtöneinheit als 32-Ohm-System aus, das sich aus acht in Reihe geschalteten 4-Ohm-Hochtönern zusammensetzt. Die gut bedämpfte Reso-

nanz der kleinen Treiber liegt bei knapp 2 kHz. Die Frequenzgänge der beiden Wege geben einen gewissen Aufschluss darüber, dass es vermutlich nicht ganz einfach war, beide Wege so gut funktionierend zusammenspielen zu lassen. Der Tieftöner zeigt sich zwar wenig beeindruckt von der vor ihm platzierten Hochtöneinheit, umgekehrt gibt es jedoch zwei heftige Interferenzeinbrüche bei den Hochtönern durch Reflexionen an den dahinter liegenden Tieftonmembranen.

Die zugehörigen Phasengänge aus Abbildung 8 weisen um die Übergangsfrequenz eine tendenzielle Übereinstimmung aus, jedoch mit unterschiedlichen Steilheiten, die sich durch den kleinen räumlichen Versatz von ca. 34 mm erklären. Mit einer passiven Weiche wäre dieser Versatz durch ein Allpassfilter zu kompensieren, womit allerdings ein erheblicher Bauteilaufwand einhergeht, der kaum in eine so kleine Box passen würde. In der aktiven Version ist die Korrektur mit Hilfe eines kleinen Delays dagegen leicht.

Maximalpegel

Für die Messung einer typischen CLiA-Einheit fiel die Wahl auf eine Line aus fünf Systemen, die mit unterschiedlichen Winkeln betrieben wurde. Eingestellt wurden die beiden Extrema 0° und 10° zwischen allen Einheiten sowie der Mittelwert von 5° . Die 0° -Grad-Einstellung wäre eine typische Konfiguration für größere Reichweiten und die 10° für sehr steile Ränge oder extreme Downfill-Anwendungen. Selbstverständlich können innerhalb einer Line auch unterschiedliche Winkel realisiert werden, was für die Messung, wo es um das Zusammenspiel der Einzelsysteme unter bestimmten Winkeln geht, jedoch weniger interessant ist.

Abbildung 10 zeigt zunächst einmal die Frequenzgänge auf der Mittelachse der 5er-Line gemessen mit den Winklereinstellung 0° , 5° und 10° zwischen den Lautsprechern. Zum Vergleich ist in der Grafik noch die Kurve eines einzelnen Moduls in hellblau eingezeichnet. Sehr schön ist hier im direkten Vergleich der roten Kurve mit der hellblauen der Line-Array-Effekt zu erkennen: Unterhalb von 2 kHz, wo man sich bei 6 m Messentfernung schon im Fernfeld befin-



Rückseitig lässt sich der vertikale Abstrahlwinkel einstellen

det, ist genau der durch die akustische Kopplung der fünf Einheiten entstehende Pegelgewinn von ca. 7 dB zu erkennen. Oberhalb von 2 kHz bewegt man sich noch im Nahfeld der Anordnung, wo der Pegel nur mit ca. 3 dB pro Entfernungsverdopplung abfällt gegenüber den 6 dB Pegelgefälle im Fernfeld. Würde man sich mit der Messposition weiter entfernen, dann stiege in der Darstellung mit Umrechnung auf 1 W/1 m der Hochtonepegel mit jeder Entfernungsverdopplung um 3 dB an, während der tieffrequenter Bereich konstant bliebe. Für die Messung mit 10° -Winkeln ist der Effekt ähnlich, nur dass sich jetzt die Gesamtenergie auf einen entsprechend größeren Raumwinkel verteilt und damit der Pegel auf Achse gegenüber dem geraden Array absinkt.

Mit der 5er-Line wurde anschließend auch die Maximalpegelmessung ausgeführt. Die dabei entstehende Last für die Endstufe zeigt die Impedanzkurve der Anordnung aus Abbildung 11 mit einem für viele moderne Endstufen gut verträglichen Minimum von 2,7 Ohm. Für diesen Aufbau wurde bei der Messung eine Gesamtleistung von maximal 1000 Watt zugelassen, bei der dann für die Grenzen von 1%, 3%

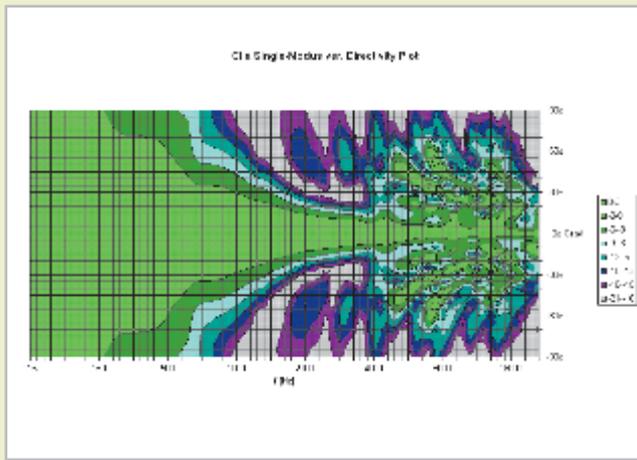


Abb. 15: Vertikale Isobaren eines Moduls im Single-Modus mit 60° nom. Abstrahlwinkel. Durch die rein auf Interferenzen basierende Umschaltung kommt es zu einem leicht konfusen Muster, das oberhalb von 4 kHz zu einer Verbreiterung des Abstrahlwinkels führt

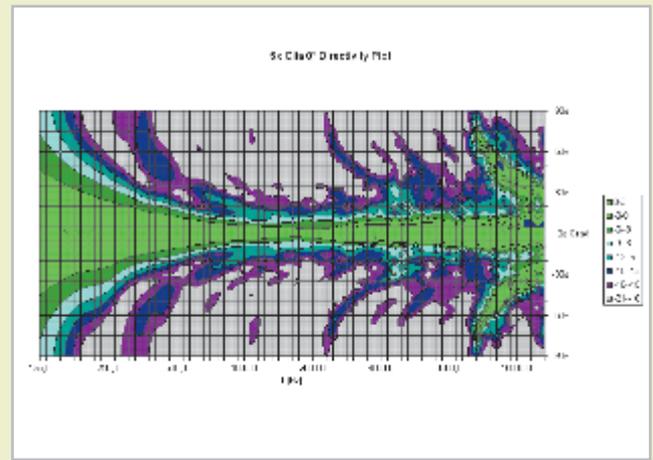


Abb. 16: Vertikale Isobaren von fünf Systemen mit 0° Winkeln. Der scheinbare Öffnungswinkel von $\pm 10^\circ$ entsteht durch Winkelfehler der Messeinrichtung für Quellen, die keine sphärische Wellenfront abstrahlen, in Wirklichkeit entsteht eine immer enger werdende Nadelspitze.



und 10% Verzerrungen die Kurven aus Abbildung 12 entstanden. Zusätzlich in hellblau eingezeichnet ist hier noch die rechnerische Maximalpegelkurve aus der Sensitivity und der Leistung von 1000 Watt. Für höchstens 10% THD erreicht das CLiA diese Kurve oberhalb von 300 Hz durchgängig. Stellenweise liegt die gemessene Kurve sogar über dem rechnerischen Wert, was durch kleine Abweichungen im Messverfahren begründet ist. Eine Einheit aus fünf CLiA-Modulen ist somit locker für

130 dB Dauerpegel und mindesten 136 dB Spitzenpegel ohne frequenzselektive Schwachstellen gut. Systembedingt fällt die Kurve unter 150 Hz zügig ab, wo dann bei Bedarf der optionale Subwoofer übernehmen würde.

Directivity

Für die Directivity-Messungen galt es zunächst einmal das CLiA in den beiden Modi Line und Single zu vergleichen. In der horizontalen Ebene ist das Abstrahlverhalten von dieser Einstellung weitgehend unbeeinflusst. Abbildung 13 zeigt die zugehörigen Isobaren, die mit einer gewissen Schwankungsbreite oberhalb von 1 kHz in etwa die nominelle 110° für die -6 dB-Kurve erreichen. Vertikal findet sich in Abbildung 14 zunächst das CLiA in der normale Betriebsart als Line-Array-Modul. Neben der bekannten spitz zulaufenden Nadelkurve einer Linienquelle gibt es zwei Nebenmaxima, die durch die Kombination der Einzelquellen zum einen bei den Tieftönern bei 2 kHz und auch bei den Hochtönern ab 10 kHz aufwärts entstehen. Dieses Verhalten ist physikalisch bedingt und für eine Linienquelle, die sich aus Einzelquellen aufbaut, unvermeidlich. Entscheidend ist dabei, dass die ungewollten Nebenmaxima in einer vertretbaren Größenordnung bleiben. Das 2-kHz-Nebenmaximum der CLiAs liegt im Pegel um mehr als 12 dB unter dem Pegel auf der Mittelachse und ist

damit gut vertretbar. Etwas anders sieht es schon bei den Hochtönen aus, wo das Nebenmaximum dann doch schon auf Werte von -6 bis -3 dB in Relation zur Mittelachse kommt, das allerdings erst oberhalb von 10 kHz, womit auch dieses kleine Manko tolerabel bleibt.

Aufregend wird es allerdings für die vertikalen Isobaren im Single-Modus, wo im Arbeitsbereich der Hochtönen oberhalb von 4 kHz ein wildes Interferenzmuster entsteht. Über alles betrachtet mit einer entsprechenden Glättung im Blick weitet sich damit der Abstrahlwinkel in den Höhen ebenfalls auf 110° auf. Unterhalb von 4 kHz bleibt die recht starke Bündelung davon allerdings unbehelligt. Im Hörerindruck macht sich dieser Effekt nicht so stark bemerkbar, wie es die Messungen auf den ersten Blick befürchten lassen. Selbstverständlich ist dieses Abstrahlverhalten nicht mit dem einer „echten“ $110^\circ \times 110^\circ$ -Grad-Box zu vergleichen. Es kann jedoch als guter Kompromiss für den Fall gesehen werden, wo man schnell eine in beiden Ebenen breit strahlende Box braucht.

Zurück zur eigentlichen Berufung des CLiA als Line-Array zu agieren: Hier wurden auch wieder die drei bekannten Anordnungen aus je fünf Elementen mit den Winkeln 0° , 5° und 10° zwischen den Lautsprechern gemessen. Die Abbildungen 16 bis 18 zeigen die erfreulich schönen Resultate, die sich mit den schon reichlich vorhandenen praktischen Erfahrungen mit CLiAs aus dem Alltagsgeschäft decken. Die fünf

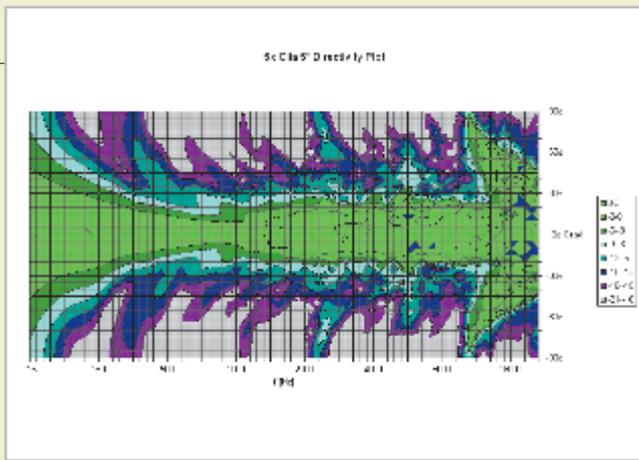


Abb. 17: Vertikale Isobaren einer CLiA-Line aus fünf Systemen mit 5° Winkeln zueinander. Der Gesamtöffnungswinkel dieser Anordnung liegt bei ca. 50°.

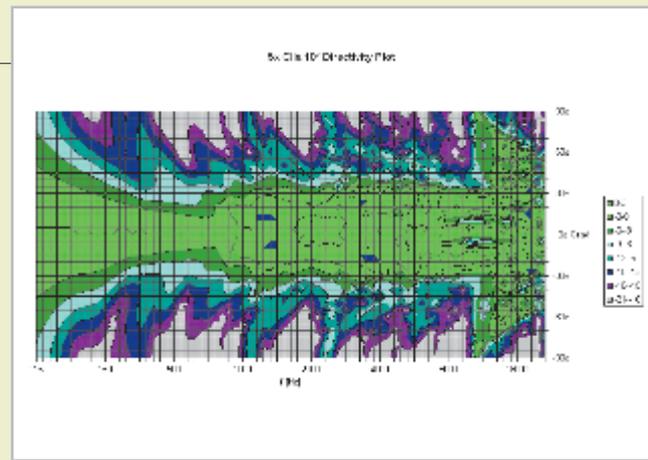


Abb. 18: Vertikale Isobaren einer CLiA-Line aus fünf Systemen mit 10° Winkeln zueinander. Der Gesamtöffnungswinkel dieser Anordnung liegt bei ca. 70°.

Module in gerader Anordnung bilden einen scharfen Beam aus, bei dem die Nebenmaxima der Tieftöner aus der Einzelmessung kaum noch eine Rolle spielen und lediglich oberhalb von 10 kHz wieder die beiden Ausläufer als Abweichungen zu erkennen sind. Der scheinbare Öffnungswinkel von $\pm 10^\circ$ entsteht durch den Winkelfehler der Messeinrichtung für Quellen, die keine sphärische Wellenfront abstrahlen. Könnte man eine für die 1,5 m lange Quelle entsprechend große Messentfernung von 20 m oder mehr realisieren, dann würden auch hier die Isobaren vergleichbar der Messung eines Einzelmoduls aus Abbildung 14 zu den hohen Frequenzen hin immer spitzer zulaufen. Für die Abbildung 17 und 18 gilt ähnliches, jedoch auf Grund der gekrümmten Quellenform nur in abgeschwächter Form. Der Öffnungswinkel der Linie bei 5° Winkelung liegt in der Summe bei ca. 50° und für 10° Winkelung bei 70°. In beiden Fällen verlaufen die Isobaren sehr schön gleichmäßig und der von den -6 dB Linien eingefasste Bereich ist homogen ausgefüllt. Lokale Einbrüche oder Überhöhungen gibt es kaum. Es darf demnach guten Gewissens behauptet werden, dass das CLiA für alle Winkel von 0° bis 10° zwischen den Lautsprechern bestens funktioniert.

Höreindruck

Höreindrücke mit dem CLiA System konnten bei diversen Einsätzen in den letzten

zwei Jahren schon reichlich gesammelt werden. Als erstes ist eigentlich immer das Staunen der Zuhörer ob der hohen Pegel und des unscheinbaren Äußeren einer CLiA-Line zu erwähnen. Mindestens ebenso wichtig dürfte jedoch die Erfahrung sein, dass die CLiAs diese hohen Pegel auch erzeugen können, ohne dabei ihren klanglichen Charakter zu verlieren. Dieser erinnert eher an einen guten Studiomonitor, was ja auch nicht weiter verwundert, da die Bestückung durchaus ähnlich ist. Vor allem der Verzicht auf einen Kompressionstreiber und damit auch auf Waveguides und andere „Schallwellenverbieger“ kommt dem CLiA sehr zu Gute. Zu den sicherlich beeindruckendsten CLiA-Erlebnissen dürften die Mayday-Beschallungen der Hallen 2 und 3 in diesem Jahr und 2005 gehören, wo je zehn CLiAs an den Ecken des Dancefloors – mit entsprechender Bassunterstützung natürlich - für einen sonst selten zu erlebenden Höreindruck sorgten. Im Pegel standen die CLiAs den sonst üblichen großen Hornsystemen in nichts nach, ohne dabei allerdings nur einen Hauch von Unsauberkeit oder Aggressivität rüberzubringen. So macht das Musikhören Spaß!

Fazit

Das CLiA-System von FÖÖN macht seinem Namen als Compact Line Array alle Ehre. Die handlichen kleinen Elemente sind wunderbar leicht auf- und abzubauen und

Preise

CLiA-Modul	ca. 1.276 €
Flying-Hardware für ein Modul	ca. 638 €
Flugsystem (Flugschiene, Ausleger, etc.)	ca. 638 €
Topteil	ca. 283 €

sehr einfach in allen Lagen zu montieren. Flug- und Stellvorrichtung gibt es in allen Varianten, so dass man ein CLiA eigentlich immer dort hinbekommt, wo man es haben möchte. Messtechnisch können die mit zwei Tieftönern und acht Neodym-Kalotten bestückten Lautsprecher überzeugen. Von den sonst unvermeidlichen Problemstellen der Kompressionstreiber und Waveformer ist hier prinzipbedingt nichts zu spüren. Trotzdem ist es Entwickler „Kalla“ Kuntze gelungen, das für Line-Arrays elementar wichtige Abstrahlverhalten fast perfekt zu erreichen. Vor allem in der Kombination mehrerer Einheiten harmonisiert das CLiA bestens. Das alles deckt sich mit den bisherigen Erfahrung aus dem Alltagsgeschäft mit den CLiAs, wo sie sich bereits vielerorts gut bewähren.

◆ **Text und Messungen:**
Christiane Bangert und
Anselm Goertz
Fotos: Dieter Stork