



Anpassungsfähig

Stoll Audio Convertible PA-System in der Kulturfabrik Kofmehl in Solothurn

Dieter Michel

Heutzutage wird der überwiegende Teil der mittelgroßen bis großen Beschallungsaufgaben Open Air und in Hallen mit Line-Arrays bestritten. Die Technologie hat sich durchgesetzt. Entsprechend ist es für Unsereinen kein Problem, über eine Anwendung von Line-Arrays zu berichten. Interessant ist es dann natürlich, wenn es einmal nicht ausschließlich um Line-Arrays, und umso interessanter, wenn es um neuartige Technologien geht. So eine Gelegenheit bot sich am 9. Mai im Schweizer Solothurn anlässlich eines Konzertes der niederländischen Saxophonistin und Sängerin Candy Dulfer, die mit ihrer Band in der dortigen Kulturfabrik Kofmehl auftrat. Das Konzert wurde über die Hausanlage gefahren, das aus 2x6 Elementen des Convertible PA-Systems sowie zugehörigen Subbässen des Schweizer Herstellers Stoll Audio basiert. Die Besonderheit des Convertible Systems besteht darin, dass man die Lautsprecherkomponenten zwischen den Betriebsarten "Line-Array" und "Punktstrahler" umschalten kann, um für die jeweilige Beschallungsaufgabe das jeweils optimale Abstrahlverhalten zu bekommen.

Kulturzentrum Kofmehl

Der Betrieb der Kulturfabrik Kofmehl ist als nicht gewinnorientierter Verein organisiert und wird zum größten Teil ehrenamtlich geführt. Insgesamt circa 250 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter übernehmen auf diese Weise die anfallenden Tätigkeiten, was unter anderem auch den ehrenamtlich aktiven Jugendlichen die Möglichkeit bietet, Erfahrungen mit der Organisation und dem Betrieb eines

selbsttragenden Unternehmens zu sammeln. Entstanden ist die Kulturfabrik Kofmehl tatsächlich auch aus einer Initiative von Jugendlichen, die mangels anderer Möglichkeiten der Kulturproduktion in der ehemaligen Fabrikhalle der "Otto Kofmehl Metallwaren AG" ein Theaterstück aufführten. Aus dieser Aktivität entwickelte sich im Laufe der Zeit ein regelmäßiger Betrieb, für den dann der Verein "Zwischenraum" gegründet wurde.

Heute nutzt man nicht mehr die alte Fabrikhalle, sondern einen Neubau unweit des alten Standortes, dessen Errichtung größtenteils durch Spendengelder ermöglicht wurde. Eröffnet wurde dieser Neubau im April 2005. Am neuen Standort zählt man inzwischen über 75.000 Besucher pro Jahr, womit die Kulturfabrik Kofmehl zu einer der beliebtesten Konzert-Locations in der Schweiz gehört. Der Neubau auf die grüne Wiese wurde bauakustisch von Dominik Stoll betreut.

Beschallungssituation/Raumakustik

Die Kulturfabrik Kofmehl verfügt über zwei Veranstaltungsräume mit Bühne, und zwar einmal die Konzerthalle mit einem Fassungsvermögen von circa 900 Personen, und einmal die kleinere "Raumbar", die circa 200 Personen fasst und etwa auch für Lesungen, Kleinkunstveranstaltungen und dergleichen geeignet ist.

Die Konzerthalle hat Grundabmessungen von circa 20m x 13m, wobei von der Raumtiefe circa 5m für die Bühne abgehen. Die Halle steht mit massivem Mauerwerk auf einem vom übrigen Gebäude separaten Fundament, um durch diese "Raum-im-Raum"-Konstruktion aus Schallschutzgründen die Schallemissio-

nen in die Nachbarschaft der Kulturfabrik zu minimieren.

In der Halle verteilt sich das Publikum über zwei Ebenen und findet im ersten Obergeschoss auf einer umlaufenden Galerie ("Estrade") Platz. Beschallungstechnisch müssen beide Bereiche versorgt werden, wobei sich im hinteren Bereich der Halle auf der Erdgeschoss-Ebene unterhalb der Galerie eine Bar befindet, in deren Umfeld ein etwas niedrigerer Direktschallpegel erwünscht ist, um Gespräche zu ermöglichen. Auf der Galerie gibt es mehrere tribünenartige Aufbauten für Stehplätze. Auf diese Weise staffelt sich das Publikum in der Höhe von der Erdgeschoss-Ebene bis zum obersten Tribünenplatz. Entsprechend muss dieser Publikumsbereich auch in seiner Höhenausdehnung beschallungstechnisch angemessen versorgt werden.

Beschallungskonzept

Für die Beschallung der Konzerthalle der Kulturfabrik Kofmehl kommt ein Beschallungssystem vom Typ CFR2610 Convertible des Schweizer Herstellers Stoll Audio aus Basel zum Einsatz. Links und rechts der Bühne sind zwei relativ tief hängende Arrays aus je sechs CFR2610 geflogen, die relativ gering gebogen sind. Jedes CFR2610 Modul ist 58cm hoch, entsprechend ergibt sich eine Array-Länge von circa 3,60m. Mit einer unteren Grenzfrequenz von 60Hz (-3dB) (40 Hz -6 dB im Step Down Modus) sind die Systeme zwar grundsätzlich fullrangetauglich, für lautstärkebetonte Musik, wie sie im Veranstaltungsprofil der Kulturfabrik durchaus vorkommt, ist aber eine Ergänzung durch passende Subbässe sinnvoll. Im Kofmehl kommen für diesen Zweck insgesamt vier Stoll IL3500 Infralow-Subbässe zum Einsatz, die unter der Bühne platziert sind. Dazu später mehr.

In vielen anderen Line-Array Anwendungen werden die Arrays gern stärker gebogen, um einen größeren vertikalen Winkelbereich – insbesondere den Nahbereich vor der Bühne – abzudecken. Das funktioniert jedoch, so Dominik Stoll,



Gründer und Chefentwickler von Stoll Audio, häufig besser optisch als akustisch. Winkelt man die Arrayelemente gegeneinander an, so wird im Hochtonbereich der vertikalen Abstrahlwinkel insgesamt größer – wenn man es nicht mit der Anwinkelung übertreibt, so dass die Hochtonsysteme nicht mehr als ein durchgehender Linienstrahler arbeiten. Geschieht dies, bricht die Hochton-Abstrahlung in einzelne Quellen auf, und man bekommt wieder unerwünschte Interferenzeffekte im Übergangsbereich zwischen den einzelnen Arrayelementen. Selbst wenn das nicht passiert, wird sich im Mittenbereich das vertikale Abstrahlverhalten nicht in derselben Weise auf-

weiten wie im Hochtonbereich, weil wegen der größeren Wellenlängen das Curving beziehungsweise die Abweichung von einer geraden Linie nicht groß genug ist, um wirksam zu sein. Das Abstrahlverhalten im Mittenbereich wird dann nach wie vor von der Gesamtlänge des Arrays dominiert, so dass sich im Endeffekt je nach Hörposition Abweichungen in der klanglichen Balance ergeben können. Dominik Stoll empfiehlt daher, ein Line-Array aus Convertible Elementen nur sehr wenig zu curven und für den Nahbereich lieber noch ein zusätzliches Element im Point Source-Modus abgewinkelt als unterstes Element – quasi als Front-Fill – einzusetzen.



Blick auf die Bühne in der Konzerthalle



Stoll Convertible Funktionsprinzipien

Apropos: Was hat es mit dem Begriff "Point-Source-Modus" überhaupt auf sich?

Wie der Name schon sagt, ist das Stoll CFR 2610 Convertible Lautsprechersystem verwandelbar bzw. umrüstbar, und zwar zwischen dem Betriebsarten Punktschallquelle und Line-Array. Diese beiden Varianten stellen sozusagen die beiden wesentlichen, grundsätzlichen Modi dar, in denen heutzutage der größte Teil der professionellen Beschallungssysteme betrieben wird.

Die Idee, ein konvertibles Beschallungssystem zu bauen, hat natürlich unter anderem das Ziel, Lautsprecher zu kreieren, die für beide Betriebsarten geeignet und somit universell einsetzbar sind. Für den Vermietbetrieb heißt das natürlich auch, dass die Lautsprecher nicht im Lager stehen bleiben müssen, weil sie etwa für eine bestimmte Art von Anwendung technisch nicht geeignet sind. Vielmehr sollen sie es gerade ermöglichen, durch Wahl des der Betriebsart an die Art der Anwendung angepasst werden zu können, und zwar auf einfache Weise, ohne komplizierte Umbauten an den Lautsprechern.

Damals

Bis Anfang der Neunzigerjahre war eigentlich die Betriebsart Punktschallquelle eine Art idealer Zielvorstellung der Lautsprecherentwickler. Technisch ist es natürlich sehr schwierig, einen wirklich kugelförmig und rundum abstrahlenden Lautsprecher zu bauen, es sei denn, es gelänge, die Lautsprecher so zu konstruieren, dass er in allen (!) Nutzfrequenzbereichen deutlich kleiner wäre als die Wellenlänge des abgestrahlten Schalls. Das ist erstens nicht ganz einfach, und zweitens bei den allermeisten Anwendungen für ein professionelles Beschallungssystem auch gar nicht erwünscht.

Was man vielmehr haben möchte, ist ein Lautsprechersystem, das die Publikums- beziehungsweise Hörerflächen möglichst gleichmäßig beschallt, gleichzeitig aber möglichst wenig Schall in Bereiche außerhalb dieser Flächen abstrahlt. Das Mittel der Wahl ist bei der Mehrzahl der Lautsprecherkonstruktionen ein Constant-Directivity Horn für mittlere und hohe Frequenzen, das in seinem Wirkungsbereich die gewünschte definierte Schallabstrahlung sicherstellt beziehungsweise sicherstellen soll. Bei tieferen Frequenzen übernimmt üblicherweise ein Konuslautsprecher, der – je nach Größe – im Mittenbereich aufgrund der Membrangröße zu bündeln beginnt. Normalerweise versucht man, dieses Bündelungsverhalten so an das Abstrahlverhalten des Horns anzupassen, dass sich ein möglichst stufenloser Übergang ergibt. Zu tiefen Frequenzen hin nimmt das Richtverhalten solcher Lautsprechersysteme ab, weil die strahlende Fläche nicht mehr groß genug im Vergleich zur Wellenlänge ist.

Problem dieser Konstruktion: Sobald man die gewünschte Publikumsfläche nicht mehr mit einer einzelnen Lautsprecherbox versorgen kann, stellt sich die Frage, wie der Abstrahlbereich mit zusätzlichen Lautsprechersystemen erweitert werden kann.

Der Ansatz war hier typischerweise, dass man so genannte Cluster oder Arrays bildet, bei denen mehrere Lautsprecherboxen Seite an Seite (mitunter auch Kopf an Kopf, also Horn am Horn) angereiht werden, in der Hoffnung, dass man nun die zusammengefassten Abstrahlbereiche beider Lautsprecher nutzen kann.

Das Problem besteht allerdings darin, dass die Lautsprecherbox nicht so angereiht werden können, dass ihre akustischen Zentren – also die Punkte, von denen das abgestrahlte Wellenfeld scheinbar ausgeht – zur Deckung kommen. Das geht schon deshalb nicht, weil die Lautsprecherkomponenten wie Horntriebeler oder Konus-Chassis mechanisch nicht überlappen können, ganz zu schweigen davon, dass sie sich ja in unterschiedlichen Boxen befinden.

In der Praxis bedeutet das dann, dass zwei oder mehr nebeneinander liegende Schallquellen dasselbe Signal abstrahlen, was zumindest im Übergang zwischen den beiden Abstrahlbereichen benachbarter Lautsprecher zu unerwünschten Interferenzen führen dürfte. Tatsächlich bestand ein großes Ziel bei der Entwicklung arrayfähiger Punktschallquellen darin, solche Interferenzeffekte in den Übernahmeregionen möglichst wirkungsvoll zu unterdrücken.

Anfang der Neunziger Jahre brachte dann der französische Physiker Christian Heil in einem AES-Paper den Vorschlag auf den Tisch, Großbeschallungssysteme nach dem Prinzip des Linienstrahlers aufzubauen [1]. Ein solches Beschallungssystem sollte aus einzelnen Elementen zusammengesetzt sein, die bestimmten akustischen Kriterien genügen sollten. Würde man dies bei der Konstruktion sicherstellen, wäre es möglich, aus vielen solcher Elemente ein mehrere bis viele Meter langes Array aufzubauen, das sich akustisch wie ein einziger Linienstrahler verhält. Dies hätte den unschätzbaren Vorteil, dass man in Richtung der Linie, bei einem vertikal hängenden Line-Array also in der Vertikalen, keine Interferenzeffekte zu befürchten hätte. Wegen der



Rückwärtiger Teil der Konzerthalle mit Blick auf Galerie und Tribünenkonstruktionen

großen Länge des Linienstrahlers bekäme man aber speziell im Hochtonbereich ein sehr ausgeprägtes Richtverhalten, was einen speziellen Umgang mit einem solchen Beschallungssystem erfordert. Die ersten Line-Array Großbeschallungssysteme, die Christian Heil mit der von ihm gegründeten Firma L-Acoustics auf den Markt brachte, wurden daher nur mit Operator vermietet.

Heute

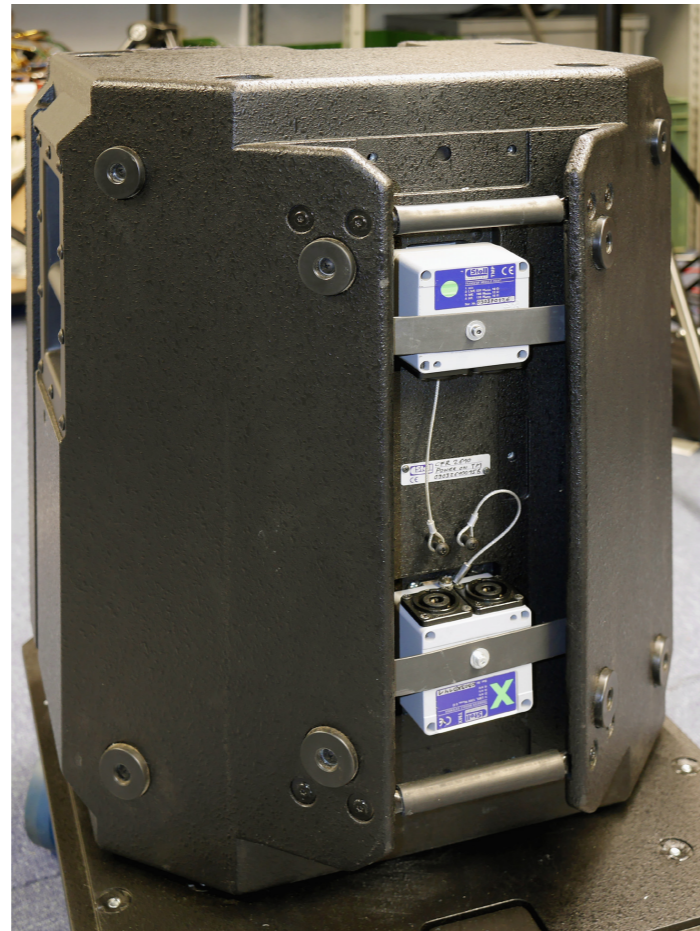
In den inzwischen 25 Jahren nach der Markteinführung haben Line-Array-Großbeschallungssysteme einen fes-

ten Platz im Produktprogramm der allermeisten Lautsprecherhersteller und werden oft schon fast als Allheilmittel für die verschiedensten Beschallungsaufgaben angesehen. Tatsächlich können sie sehr oft ihre Vorteile ausspielen, insbesondere den, mit zwei oder vier sehr schlanken Lautsprechersystemen große Arenen oder Outdoor-Flächen gleichmäßig beschallen zu können, ohne dass die Lautsprechersysteme selbst optisch zu sehr im Vordergrund stehen.

Nicht immer sind Line-Arrays allerdings die beste Lösung für eine Beschallung-



Der FOH-Platz auf der Erdgeschoßebene vor dem Treppenaufgang



Vorder- und Rückseite des Stoll CFR2610 Convertible. Gut zu erkennen die Transfermodule mit Speakon-Steckverbindern auf der Rückseite.

aufgabe, so dass auch Punkt-schallquellen heutzutage durchaus ihre Berechtigung haben. Dies bringt uns wieder zurück zum Convertible System von Stoll Audio: Wenn man mit einem Lautsprecher-system die Wahl hat, braucht man sich nicht im Vorhinein festzulegen.

CFR2610 Convertible

Rein äußerlich unterscheidet sich ein einzelner CFR2610 Convertible Lautsprecher auf den ersten Blick nicht sehr von einem klassischen 15/2-Lautsprechersystem. Mit Abmessungen von 580mm x 490mm x 377mm eher im Hochformat angelegt – mit trapezförmigem Gehäusegrundriss und um 45° abgeschrägten Seitenwänden im hinteren Bereich, zum Beispiel für den Monitoreinsatz, und einem Stahl-Frontgitter – kommt das Gehäuse eigentlich eher klassisch daher. Für den Anwender hat dies natürlich den Vorteil, dass das

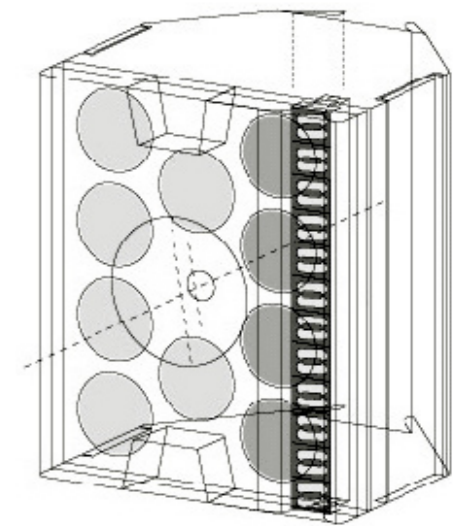
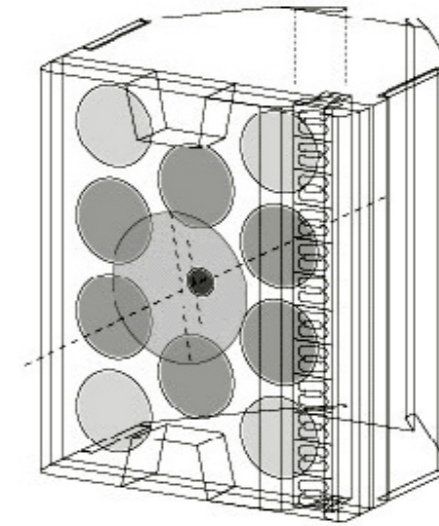
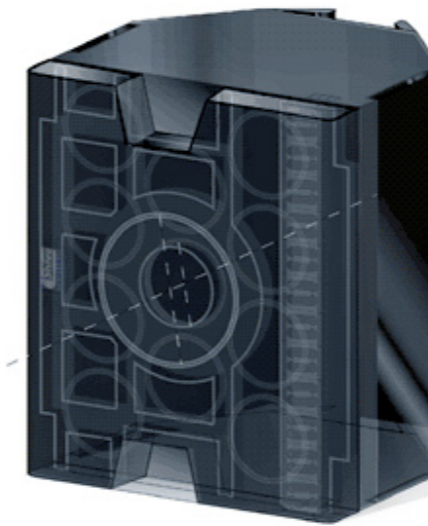
Handling vertraut ist und bequem und problemarm vonstatten gehen wird. Also werden es wohl eher die inneren Werte sein, die hier den Unterschied zu den gängigen Beschallungssystemen anderer Hersteller ausmachen.

Einen ersten Hinweis darauf bekommt man bei einem Blick auf die Rückseite der Box mit dem etwas ungewohnten Anschlussdesign. In einer Art Bucht auf der Gehäuserückseite befinden sich zwei Metallgehäuse mit Speakon-Anschlüssen und einem MultiPin-Steckverbinder. Das sind die so genannten Transfermodule. Sie stellen eine Verbindung her zwischen den Ausgangskanälen der Endstufe und den einzelnen Lautsprecherkomponenten, mit denen der CFR2610 bestückt ist. An dem MultiPin-Steckverbinder sind alle Einzelchassis separat zugänglich, wodurch das Transfermodul in der Lage ist, die internen Lautsprecherkomponenten

entsprechend der jeweiligen Betriebsart – Punktstrahler oder Line-Array – unterschiedlich mit den Endstufenkanälen zu verbinden. Es gibt daher ein Transfermodul für die Betriebsart Punktstrahler und eines für die Betriebsart Line-Array. Jeweils eines ist aktiv und steckt im MultiPin-Steckverbinder der Box, das andere ist in einer Art Parkposition arretiert, um im Bedarfsfall zur Hand zu sein. Zusätzlich gibt es ein Extender-Modul, das nur die Tieftöner ansteuert, falls man zusätzliche, im Array mit geflogene Tieftonleistung benötigt.

Das klingt erstmal kompliziert, ist aber im Grunde ganz einfach, wenn man sich die Lautsprecherbestückung genauer anschaut:

In einem CFR2610 sind insgesamt zehn 5"-Hochleistungschassis verbaut sowie – und das ist eine Besonderheit – zwei verschiedene Hochtonsysteme, jeweils



Grafische Darstellung des Aufbaus und der verschiedenen Betriebsarten des Stoll CFR2610 Convertible (siehe Text)

optimiert auf den Betrieb des Lautsprechers als Punkt-schallquelle beziehungsweise als Line-Array-Element. Dass der Entwickler hier zwei für die jeweilige Betriebsart dedizierte Hochtonsysteme spendiert hat, die man einfach elektrisch umschalten kann, ist schon eine ziemliche Spezialität. Mir ist jedenfalls nicht auf Anhieb bekannt, dass ein anderer Hersteller das in dieser Form macht. Was es allerdings auch noch gibt, ist das Konzept, denen Hochtonweg so aufzubauen, dass die Hochtoneinheit schnell gewechselt werden und so die jeweils zur Betriebsart passende eingebaut werden kann. Dies erfordert aber einen Umbau der Box und ist deshalb nicht in ein paar Sekunden erledigt.

Acoustic Pixel Technology

In der CFR2610 sind die zehn 5"-Chassis in einer Art Matrix in drei vertikalen Spalten angeordnet, wie in der Grafik oben auf der Seite dargestellt.

Die beiden äußeren Spalten sind mit je vier Chassis bestückt, die mittlere mit zweien. Je nach Beschaltung und Ansteuerung verhalten sich diese 10 Chassis in ihrer Gesamtheit akustisch unterschiedlich. Aufgrund der längeren Wellenlänge des von ihnen abgestrahlten Frequenzbereiches bilden die eng beieinander montierten Treiber in beiden Ansteuervarianten eine kohärente Schallquelle mit der

gewünschten Abstrahlcharakteristik. Stoll Audio nennt das Acoustic Pixel Technology (APT).

Wie bei einem Display, bei dem die unterschiedliche Ansteuerung der optischen Pixel jeweils ein anderes optisches Gesamtbild ergibt, ergibt die Acoustic Pixel Technology bei unterschiedlicher akustischer Ansteuerung der einzelnen Lautsprecher (der akustischen Pixel) in vergleichbarer Weise ein unterschiedliches akustisches Gesamtbild.

Die kürzeren Wellenlängen des Hochfrequenzbereichs werden dann von zwei auf die jeweilige Betriebsart spezialisierten Mittel-/Hochtonsystemen abgestrahlt.

Modus Punkt-schallquelle

In der Mitte der Schallwand des CFR2610, also quasi als mittlerer Lautsprecher in der mittleren Spalte, ist eine Horn/Treiberkombination aus einem Kompressionstreiber und einem rotationssymmetrischen Horn eingebaut. Dies ist das Hochtonsystem für die Betriebsart Punkt-schallquelle. In dieser Betriebsart geben die sechs 5"-Chassis, die das Hochtonhorn unmittelbar umgeben, auch den Mittenbereich bis zur Übernahme-frequenz zum Hochton-Hornsystem wieder. Die restlichen vier Konuslautsprecher in den Ecken der Schallwand laufen nur bis circa 400 bis 600 Hz im Overlap

mit dem inneren Ring und fungieren auf diese Weise als Tieftonergänzung. Sie bilden quasi einen zweiten "Ring" um das zentrale Hochtonhorn.

Die gesamte Anordnung arbeitet also quasi wie ein Koaxial-Lautsprecher mit einem Hochtonhorn in der Mitte, nur dass hier der Konuslautsprecher für den Tiefmitten- und Mittenbereich quasi in sechs Einzelchassis aufgespalten wurde, während die äußeren vier nur unterhalb von ca. 500 Hz arbeiten. Sowohl im Point- wie auch im Line-Modus arbeiten alle zehn 5-Zöller im unteren Bereich.

Was die Tieftonwiedergabe angeht, haben die zehn 5-Zöller eine Gesamt-Membranfläche, die sogar etwas größer ist als die eines einzelnen 15-Zöllers. Dass der CFR2610 auch als Einzelsystem fullrange-tauglich ist, braucht man also nicht bezweifeln. Die Aufsplittung in zehn 5-Zöller hat hier aber den Vorteil, dass erstens durch die zehn Magnetsysteme und Schwingspulen der Antrieb stärker und die effektive Schwingspulenfläche für die Wärmeabfuhr größer ist als bei einem 15"-Einzelchassis. Darüber hinaus kann man ein 5"-Chassis bis zu einer höheren Trennfrequenz zum Hochtonweg betreiben – bei einem 15 Zöller muss man da schon Kompromisse machen. Ein hypothetischer, vergleichbarer 15-Zöller müsste eine ca. 20cm große Schwingspule haben für die gleiche elektrische Be-

lastbarkeit und einen Kraftfaktor (BL) von ca. 35 N/A (Newton pro Ampere)!

Übrigens sind im Frontgitter Formelemente integriert, die sich der Konusmembran der 5"-Chassis anpassen und je Chassis zwei Schallaustrittsöffnungen freigeben. Sie wirken so als eine Art Phase-Plug und Schallführung für den Mittenbereich. Vorteil dieser Konstruktion ist, dass erstens der Übertragungsbereich der 5-Zöller nach oben etwas erweitert und der Wirkungsgrad in der obersten Oktave um circa 5,5dB verbessert wird. Gleichzeitig verdoppelt sich die Anzahl der Schallaustrittsöffnungen, was effektiv dazu führt, dass aus akustische Sicht quasi doppelt so viele entsprechend kleinere Lautsprecher aktiv sind. Das ist auch von Vorteil für den Betrieb im Line-Array Modus. Dazu später mehr.

Line-Array Modus

Während im Punktschallquellenmodus die 5"-Chassis so angesteuert werden, dass sie quasi in einem konzentrischen Ring um das Hochtonhorn herum arbeiten, benötigt man für den Betrieb als Linienstrahler – wer hätte das gedacht – eine linienförmige Anordnung von Lautsprechern. Hier müssen die Fünfzöller also in einer anderen Weise angesteuert werden.

Wir erinnern uns: Im CFR2610 sind die 5"-Chassis in drei Spalten angeordnet. Die von vorn auf den Lautsprecher gesehen rechte Spalte aus vier Chassis wird für den Line-Array-Modus als Gruppe so angesteuert, dass sie den Mittenbereich bis zur Trennfrequenz von ca. 2.400Hz zum Hochtonweg wiedergibt. Durch die bereits erwähnte Schallführung tritt akustisch der Effekt ein, dass es sich scheinbar um acht entsprechend kleinere Schallstrahler handelt, die dicht an dicht angeordnet sind.

Das bringt Vorteile, wenn es darum geht, die von Christian Heil formulierten Kriterien für ein als Linienstrahler funktionierendes Line-Array zu erfüllen [2]. Diese fordern unter anderem, dass die Einzelstrahler, aus denen der Linienstrahler zusammengesetzt ist, im Nutzfrequenzbereich in einem Abstand von weniger als einer halben Wellenlänge angeordnet sind. Im Beispiel des CFR2610 sind mit Hilfe der vorhin beschriebenen Waveguide-Lösung effektiv acht Strahler auf einer Länge verteilt die der Boxenhöhe entspricht. Sie sind also effektiv in einem Abstand von $580\text{mm}/8 = 72,5\text{mm}$ angeordnet. Das Line-Array Kriterium für den Strahlerabstand wäre also bis zu einer Frequenz von 2365Hz erfüllt, womit die Trennfrequenz zum Mundorf AMT bei ca. 2400 Hz logisch und sinnvoll ist.

Die von vorne gesehen linke und mittlere Spalte, insgesamt sechs 5"-Chassis, arbeiten nur im Tiefmitteltonbereich bis ca. 400 bis 600 Hz in einem Overlap, also gemeinsam mit den Chassis der rechten Spalte. So wird die horizontale Abstrahlcharakteristik bis zu aufgrund der Breite möglichen maximal tiefen Frequenz bei ca. 100° gehalten, wobei die ausgefeilten FIR-Filter es ermöglichen, dass die Abstrahlcharakteristik trotz

nichtsymmetrischer Anordnung symmetrisch bleibt. Wegen der längeren Wellenlängen in diesem Frequenzbereich gibt es keine Probleme mit dem Abstand der Einzelstrahler und auch nicht damit, dass die 5"-Chassis in zwei Spalten nebeneinander angeordnet sind.

Besonders interessant ist natürlich der Hochtonweg, weil es hier bei der Line-Array-Entwicklung immer zum Schwur kommt – denn wegen der vergleichsweise kurzen Wellenlängen im Hochtonbereich sind hier die Anforderungen besonders schwer zu erfüllen.

Wollte man beispielsweise das Abstandskriterium bis zu einer oberen Grenzfrequenz von 16kHz einhalten, dann dürften die einzelnen Schallstrahler nur einen Durchmesser von wenig mehr als 10mm haben und dicht an dicht angeordnet sein. Mit Direktabstrahlern, zum Beispiel Kalottenhochtönern, wäre das vielleicht nicht unmöglich, aber zumindest technisch sehr aufwändig.

Viele Line-Array-Systeme gehen hier den Weg, einen Kompressionstreiber einzusetzen. Für diesen Zweck muss dann eine Schallführung entwickelt werden, die die runde Schallaustrittsöffnung des Treibers so auf eine rechteckige Schallaustrittsöffnung umsetzt, dass an dieser rechteckigen Öffnung idealerweise eine ebene Wellenfront entsteht. Das ist sehr viel einfacher gesagt als getan, und es gibt bereits verschiedenste Konstruktionen und auch Patente für diesen Zweck. Das liegt nicht zuletzt daran, dass gut funktionierende Konstruktionen gern schon patentiert sind, und man sich als Entwickler etwas Neues ausdenken muss, wenn man keine Lizenzgebühren zahlen will, oder der Patentinhaber schlicht keine Lizenzen für die Wunschkonstruktion vergeben möchte.

Das Ende vom Lied ist in vielen Fällen eine mehr oder weniger komplizierte Schallführung, die natürlich durchaus funktionieren kann, aber eben auch zusätzlich zu den Kompressionstreibern weiteren Platz im Gehäuse beansprucht. In einem Lautsprechersystem wie dem CFR2610 Convertible ist Platz aber knapp, weil die Box kompakt bleiben, aber trotzdem zwei separate Hochtonsysteme beherbergen soll, damit man zwischen den beiden Betriebsarten umschalten kann.

Die vom Entwickler Dominik Stoll gewählte Lösung für den Line-Array-Hochtonweg folgt dem Konzept "einfach ist genial", indem sie einen Hochtonlautsprecher einsetzt, der bereits vom Arbeitsprinzip her eine rechteckige Schallaustrittsöffnung hat und an dieser Öffnung in guter Näherung eine ebene Wellenfront produziert.

Mundorf ProAMT

Es handelt sich um eine für Stoll Audio gefertigten Spezialvariante des ProAMT (Air Motion Transformer) des Kölner Herstellers Mundorf. Wir hatten in den vergangenen Jahren der bereits öfter über den ProAMT in verschiedenen Ausführungen

berichtet und die grundsätzliche Tauglichkeit für den Einsatz in einem PA-System auch durch eigene Messungen belegt.

Die neue AMT-Membranfertigung in Hürth bei Köln war ja kürzlich erst Thema eines Berichtes in Prosound (Ausgabe 1/2019). Sie erlaubt es, auch kundenspezifische Konstruktionen mit überschaubarem Zeitaufwand zu realisieren – ein großer Vorteil, denn die Membranherstellung ist die Schlüsseltechnologie dieser Wandlertechnik.

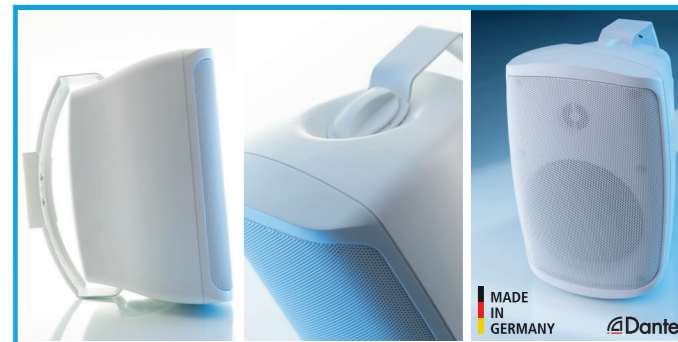
Im vorliegenden Fall hatte Dominik Stoll sehr genaue Vorgaben gemacht, was Länge, Bauform und sonstige Abmessungen des ProAMT für das CFR2610 Convertible anging.

Das Ergebnis war ein Hochtöner mit rechteckiger Schallaustrittsöffnung, der im Rahmen der konstruktiven Randbedingungen fast genauso lang ist wie die Box hoch – also in fast idealer Weise die Anforderungen an einen Linienstrahler im Hochtonbereich umsetzt. Durch das Air Motion Transformer Prinzip ist der Wirkungsgrad darüber hinaus höher als bei einem klassischen Magnetostaten.

Allerdings versuchte Dominik Stoll im vorliegenden Fall nicht, um jeden Preis einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu bekommen. Vielmehr sollte das Custom-AMT-Hochtonsystem dem gewünschten Abstrahlverhalten und den gewünschten Klangeigenschaften möglichst nahe kommen. Falls der Preis dafür ein niedrigerer Wirkungsgrad ist, kann man dies durch einen Mehreinsatz an Verstärkerleistung problemlos kompensieren, denn bei einer so langen Membran wie im ProAMT für das CFR2610 Convertible ist die Membranfläche groß genug, um die entstehende Wärme auch bei höherer Belastung abzuführen.

Beim Design des Lautsprechers kann man daher die Optimierung zwischen Wirkungsgrad und Klangqualität in Richtung Klangqualität verschieben und dafür einen höheren Bedarf an Verstärkerleistung in Kauf nehmen. Ein ähnlicher Gedanke findet sich übrigens auch bei den Subbässen. Dazu später mehr.

Apropos Belastbarkeit: Tatsächlich ist es so, dass die AMT-Technik im STOLL CFR2610 Convertible im Kofmehl bereits seit zehn (!) Jahren für die verschiedensten Veranstaltungen wie Konzerte, Disco usw. im ständigen Betrieb ist und auch pegelmäßig (im Rahmen der zulässigen Grenzwerte) nicht geschont wird. Die Hausanlage wurde von der Kulturfabrik Kofmehl damals nicht gekauft, sondern wird von der Beschallungsfirma XYZ gemietet, die entsprechend auch für die technische Wartung zuständig ist. Deren Lautsprecherexperte Stephan Isenring hatte bei Mundorf angefragt, ob nach dieser langen Einsatzzeit ein nicht routinemäßiger Wechsel der Membran angebracht sei. Dies ist aber nicht erforderlich und deckt sich mit entsprechenden Erfahrungen bei Mundorf, die seit 2007 so gut wie keine Ersatzmembranen an ihre Kunden ausgeliefert haben.



PROFESSIONAL AUDIO OVER IP SOLUTIONS

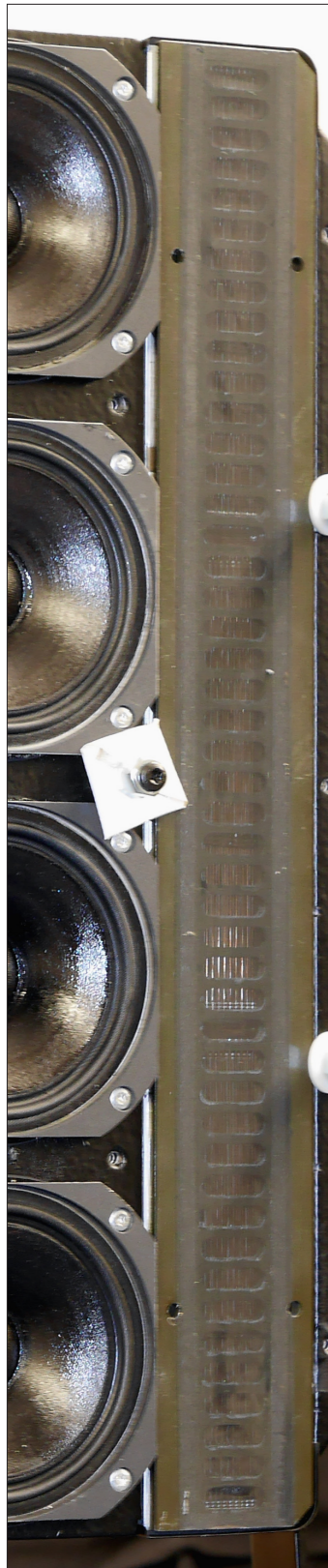
Audio-over-IP-Lösungen mit Dante®-Schnittstellen zu realisieren wird dank der DT-Serie von MONACOR nun komfortabel und preislich äußerst attraktiv.

Wir stellen Ihre Anforderung in den Mittelpunkt unserer Lösung.




MONACOR

www.monacor.com



Mundorf Custom-ProAMT mit abgenommenem Waveguide in einem Convertible-Experimentiersystem im Labor von Stoll-Audio

Ein wichtiger Vorteil des ProAMT bei der Entwicklung eines Line-Arrays besteht also darin, dass er die gewünschte rechteckige Schallaustrittsfläche mit gleichphasiger Schallabstrahlung über die gesamte Fläche quasi von Haus aus liefert, ohne dass dafür komplizierte Schallführungen zu entwickeln und Patente zu berücksichtigen wären. Im vorliegenden Fall bestand die Arbeit des Lautsprecherdesigners also eher darin, dem Komponentenhersteller Mundorf entsprechende mechanische, elektrische und akustische Eckdaten so vorzugeben, dass der entstehende Custom-ProAMT optimal zum CFR2610 Convertible passte. Übrigens, so Dominik Stoll im Gespräch über das System, gibt es eine weitere Anforderung speziell an das Hochtonsystem eines Line-Arrays, die häufig gar nicht oder als weniger wichtig wahrgenommen wird: Das vertikale Abstrahlverhalten eines Linienstrahlers als Ideal-Vorbild für eine Line-Array-PA entsteht durch die Überlagerung aller, vom kompletten Array abgestrahlten Schallanteile. Das bedeutet auch für den Hochtonbereich, dass jeden Hörplatz im Publikum Schallanteile von allen Arrayelementen erreichen müssen, damit das gewünschte Abstrahlverhalten entstehen kann. Zu diesem Zweck muss jedes Flächenelement der Schallaustrittsflächen des Arrays ein sehr breites Abstrahlverhalten haben – idealerweise bis zu 180°. Bei vielen Line-Array-Konstruktionen, die mit Hochton-Hornsystemen arbeiten, ist das aber nicht unbedingt der Fall. Speziell bei stark gebogenen Arrays kann es dann im Hochtonbereich dazu kommen, dass nicht mehr alle Arrayelemente auf jeden Punkt im Publikum strahlen. Das führt im günstigen Fall dazu, dass nicht mehr die komplette Arraylänge wirksam ist, im ungünstigen Fall kann das vertikale Abstrahlverhalten aber auch aufbrechen oder unerwünschte Nebeneffekte aufweisen.

Was diesen Aspekt betrifft, ist der ProAMT unproblematisch, weil dessen Membran den Schall im Prinzip ohne eine Schallführungsabstrahlung, die den Abstrahlwinkel irgendwie begrenzen würde, es sei denn, der Lautsprecherentwickler würde dies absichtlich in das akustische Design der Box integrieren.

Beim CFR2610 Convertible gibt es tatsächlich nur eine Schallführung für die Abstrahlung in der Horizontalen, und zwar in Form eines

kurzen Hornvorsatzes, der vermutlich im unteren Teil des Arbeitsbereiches des ProAMT die akustische effektive Breite des Linienstrahlers auf circa 9cm erhöhen soll. Das entspricht der Breite der Schallaustrittsöffnungen der 5"-Mitteltöner.

Der Waveguide für den ProAMT sorgt so also dafür, dass der Nenn-Abstrahlwinkel von 100° horizontal auch am unteren Ende des Übertragungsbereiches des Hochtöners eingehalten wird und zudem dem Abstrahlwinkel des Mittensystems bei der Übernahmefrequenz entspricht. Bei höheren Frequenzen wirkt diese Schallführung dann als kurzes Horn mit einem Nenn-Abstrahlwinkel von 100°.

Subbass

Zur Unterstützung und Erweiterung des Tiefbereiches kommen in der Kulturfabrik Kofmehl insgesamt vier Stoll IL3500 Infralow Subbässe zum Einsatz, die unter der Bühne platziert wurden. Die Bezeichnung Infralow ist hier nicht einfach Lautmalerei, sondern verweist auch auf das spezielle Konzept der Stoll Subbässe.

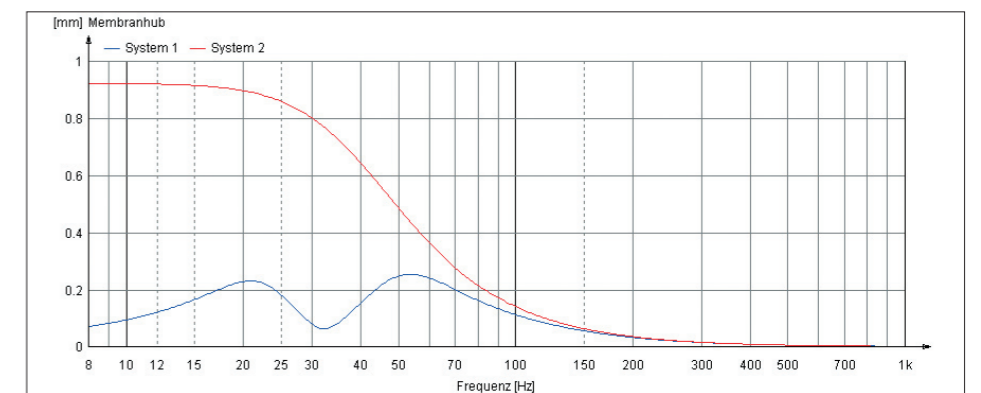
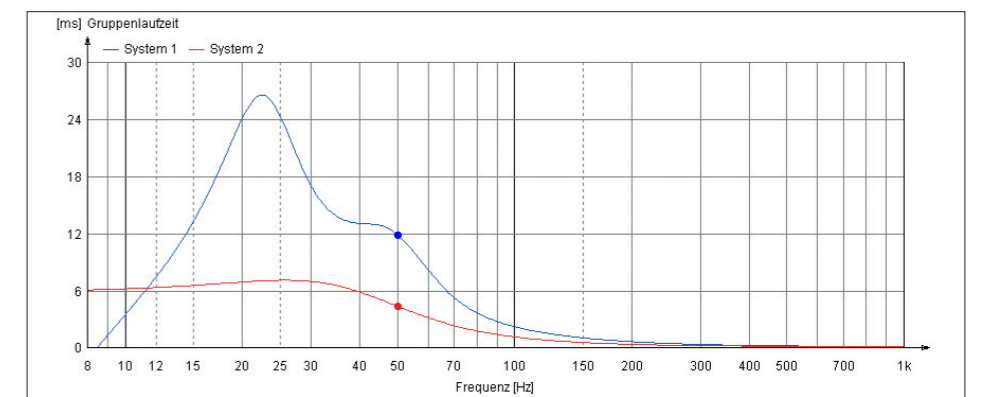
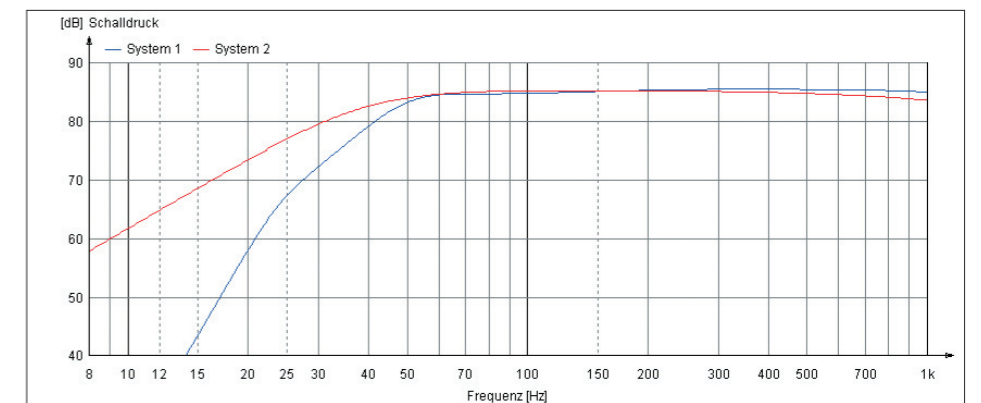
Im Gegensatz zum überwiegenden Teil der Subbass-Konstruktionen im professionellen Beschallungsmarkt basieren die Stoll-Subbässe nicht auf Bassreflex-Konstruktionen, sondern arbeiten mit geschlossenen Gehäusen. Das hat, so Entwickler Dominik Stoll, sehr positive Auswirkungen auf die Klangqualität gerade in den untersten Oktaven, das System kann nämlich elektronisch gesteuert bis 8 Hz hinunter übertragen. Das normale, werksseitige Filtersetup ist auf 18 Hz -6dB mit einer Hochpasscharakteristik von nur 2. Ordnung, also 12 dB/Oktave, eingestellt. Es kann vom User verstellt werden, wobei natürlich mehr Tiefgang weniger maximalen SPL bedeutet. In der Praxis bewähren sich die Werkseinstellungen gut. Da viele Säle und Hallen jedoch ausgeprägte Eigenmoden im Bereich von unter 40 Hz haben, lässt sich dieser Room-Gain nutzen und vor Ort das System so einmessen, dass sich das gewünschte, ultratief gehende und "rabenschwarze" Low-End harmonisch ins Gesamtbild einfügt.

Klassische Bassreflex-Subbässe nutzen natürlich den Vorteil eines verbesserten Wirkungsgrades und einer höheren Belastbarkeit im

Tiefenbereich, die ein Bassreflexgehäuse bietet. Auf der Sollseite steht dann aber die Tatsache, dass ein Bassreflex-Subbass mindestens ein Hochpass 4. Ordnung ist. In der Regel wird aber sogar eine Abstimmung 6. Ordnung oder 8. Ordnung verwendet, weil ein zusätzliches elektronisches Hochpassfilter die untere Grenzfrequenz begrenzt, um eine Beschädigung der Lautsprecherchassis durch zu hohe Membranauslenkungen zu verhindern.

In Bassreflex-Lautsprechern bedämpft der zusätzliche Resonator die Membranauslenkung im Bereich seiner Abstimmungsfrequenz und sorgt so unter anderem für eine höhere Belastbarkeit. Begrenzt wird die Membranauslenkung allerdings nur im Bereich der Resonanz und oberhalb der Abstimmungsfrequenz. Unterhalb der Resonanzfrequenz wird die Lautsprechermembran praktisch gar nicht mehr bedämpft, so dass in diesem Bereich die Membranhübe stark ansteigen und den Lautsprecher so beschädigen können.

Bei einem Lautsprecher einer geschlossenen Box ist das Verhalten anders. Unterhalb der Resonanzfrequenz des Lautsprechers im eingebauten Zustand arbeitet die Membran in sogenannter Federhemmung. Das heißt, die Membranauslenkung ist proportional zum angelegten elektrischen Signal. Für sehr tiefe Frequenzen wird die Membranauslenkung daher nicht immer größer, sondern folgt im Prinzip dem elektrischen Signal. Daher braucht man kein spezielles Schutzfilter für deren Begrenzung, sondern betreibt das System effektiv ohne jegliches elektrisches zusätzliches Hochpassfilter. Moderne Amps gehen sehr tief runter, haben typisch eine untere Grenzfrequenz von unter 5 Hz. Falls das zuviel Tiefgang bedeutet, sei es raumakustisch bedingt, oder, weil man mehr Dynamik erzielen will, empfiehlt STOLL die Benutzung eines Low-Shelve Filters, der ein sanftes Rolloff erzeugt. Dieses wird die Phase und damit die Gruppenlaufzeit und letztlich das Impulsverhalten viel weniger beeinträchtigen als ein elektrisches Hochpassfilter, die heute vor Bassreflexsystemen typisch als Filter 4. Ord-



Computersimulation des Frequenzgangs von Schalldruckpegel, Gruppenlaufzeit und Membranauslenkung für zwei Beispiel-Basslautsprecher mit geschlossenem (rot) und Bassreflexgehäuse (blau) mit Schutzfilter gegen zu hohe Membranauslenkung.

Wichtig: Diese Computersimulation hat nichts mit den technischen Daten und den Lautsprecherkomponenten des Stoll IL3500 Infralow Subbasses zu tun! Sie dient nur zur Veranschaulichung des zugrundeliegenden Konzeptes.

nung zum Einsatz kommen. In jedem Fall erlaubt ein STOLL Infralow System aufgrund dieses Konzeptes völlig neue Möglichkeiten, den Bereich Tiefbass und darunter zu gestalten. Im Cinema-Einsatz wurden damit Applikationen realisiert, die einen Frequenzgang bis 5 Hz erlauben, und somit eindrucksvolle mehr spür- als hörbare, Erdbeneffekte

reproduzieren, welche ja in modernen Filmproduktionen zu finden sind. Nicht umsonst ist der *.1-Weg einer Kinotonanlage, der LFE- also "Low Frequency Effect" Kanal ausdrücklich ohne Limit nach unten (quasi bis 0 Hz) definiert.

Im Gegensatz dazu liegen bei typischen Bassreflex-Subwoofern sowohl die Ab-



Gestellschrank mit der Audioelektronik für die Tonanlage in der Kulturfabrik Kofmehl. Die obere Vierergruppe im Rack sind die Lab.Gruppen Endstufen für die Stoll Convertible Arrays.

stimmfrequenz des Bassreflex-Resonators, als auch das Schutzfilter, noch im Bereich der musikalisch genutzten Frequenzen und können daher auch eine Auswirkung auf den Klang haben.

Um den prinzipiellen Gedankengang dieses Ansatzes zu verdeutlichen, haben wir eine Computersimulation des Tief- tonfrequenzgangs jeweils eines Bassreflex-Systems und eines Lautsprechers mit

geschlossenem Gehäuse durchgeführt. Wichtig: Diese Simulationen haben von Gehäusegröße, Chassisauswahl und Abstimmung praktisch nichts mit den STOLL Subbässen zu tun, sie dienen lediglich der Verdeutlichung des Grundkonzeptes.

Die drei Grafiken zeigen den Amplitudenfrequenzgang, den Frequenzgang der Gruppenlaufzeit und denjenigen der Membranauslenkung für die beiden Systeme. System 1 (blau) ist dabei die Bassreflexbox, System 2 (rot) das geschlossene System.

Für die Simulation haben wir versucht, die Amplitudengänge im Nutzfrequenzbereich (ab circa 45 Hz) möglichst gut aneinander anzupassen. Um dies erreichen zu können, wurden hier ähnliche Chassis desselben Herstellers verwendet, deren Thiele-Small-Parameter jeweils besser für geschlossene beziehungsweise für Bassreflexgehäuse geeignet sind.

Das Bassreflexsystem hat zusätzlich einen Hochpaßfilter für den Schutz gegen zu große Membranauslenkung bekommen. Dieses wurde so abgestimmt, dass die Membranauslenkung unterhalb des Nutz-Frequenzbereiches nicht größer wird als innerhalb.

Im Vergleich der beiden Systeme sieht man, dass das Bassreflex-System unterhalb der unteren Grenzfrequenz wesentlich steiler abfällt als das geschlossene. Der Knick in der abfallenden Flanke kommt vom zusätzlichen Schutzfilter, das man vermutlich für das Design eines realen Subbasses nicht so lassen, sondern auch noch etwas anders abstimmen würde.

Ein wichtiger Unterschied zeigt sich im Frequenzgang der Gruppenlaufzeiten: Bassreflexresonator und Schutzfilter erzeugen unvermeidlich auch Gruppenlaufzeitverzerrungen. Im Vergleich zur geschlossenen Box hat die Reflexvariante in unserer Simulation zum Beispiel bei 50Hz eine um den Faktor 2,7 höhere Gruppenlaufzeit als die geschlossene. Es durchaus zu vermuten, dass man dies hören kann, zum Beispiel als unpräzise Basswiedergabe. Dominik Stoll bestätigte dies auch für den Vergleich seiner In-

fralow-Subbässe im Vergleich zu klassischen Konstruktionen, merkte aber an, dass man die Unterschiede am besten in einer Open-Air-Situation hört, weil dort kein Einfluss von Raummoden und anderen raumakustischen Effekten im Tief-frequenzbereich die klanglichen Unterschiede der beiden Subwoofer-Konzepte verdecken kann.

Am Frequenzgang des Membranhubs zeigt sich in unserer Simulation auch der Preis, den man für die klanglichen Vorteile bezahlt: Die Membranauslenkung ist für gleichen Schalldruckpegel bei der geschlossenen Box größer als bei der Bassreflexbox, unter anderem, weil bei dieser der Bassreflexport im Bereich seiner Resonanzfrequenz einen großen Teil der Schallabstrahlung übernimmt, und die Lautsprechermembran daher nicht so viel Hub machen muss. Auch ist der Wirkungsgrad der geschlossenen Konstruktion schlechter. Das sieht man in unseren Grafiken allerdings nicht, weil die Eingangsleistungen für beide Systeme so eingestellt wurde, dass sie im Nutzfrequenzbereich einen möglichst gleichen Amplitudenfrequenzgang haben.

Der größere Membranhub, so Dominik Stoll, ist der Preis bzw. der Luxus für die korrektere Reproduktion im Bassbereich. Konstruktiv löst er diese Anforderung mit einem enormen Luftverschiebevolumen pro Frontfläche. Der Stoll Infralow hat eine effektive Membranfläche von über 82 % der Brutto-Frontabmessungen. Die eingesetzten vier (!) 18" Treiber pro Sub sind extrem langhubig (x_{max} linear von +/- 19 mm!) und werden von starken Amps (typisch 6 bis 12 kW für vier 18-Zöller) angetrieben.

Amping

Apropos Amps: Das System im Kofmehl wird von vier Vierkanalendstufen vom Typ Lab.Gruppen PLM12K44 angetrieben, jeweils zwei pro Seite, wobei je eine Endstufe drei parallele Stoll Convertible CFR2610 und einen Stoll IL3500 Infralow antreibt. So können alle vier Einheiten pro Amp mittels 8poligem Speakon durchgeschleift werden. Im Kofmehl werden dank der noch doppelt vorhandenen 4poligen Speakon am Amp

die Lautsprecher mittels Y-Adapter-Kabel doppelt verkabelt und so effektiv mit 8mm. Querschnitt pro Leiter versorgt für maximalen Dämpfungsfaktor und Zuverlässigkeit.

Frequenzweichenfunktionen und die komplette Systementzerrung inklusive zu den Lautsprechern passender FIR-Filterung erfolgt in den DSPs der Lab.Gruppen PLM12K44 Endstufen. Stoll Audio verkauft diese Endstufen als Systemendstufen für das Convertible CFR2610 System, allerdings sind die Kunden nicht darauf festgelegt. Wer hausintern bereits Produkte eines anderen Endstufenherstellers einsetzt, kann auch dessen Endstufen verwenden, vorausgesetzt dass ein CDS-fähiger DSP-Controller zum Einsatz kommt.

Wie klingt es denn?

Bei all den technischen Beschreibungen und speziellen Lösungen im Detail ist natürlich vor allem interessant, wie das Ganze letztendlich klingt. Genau das war der Grund, sich nach Solothurn zu begeben und in einer normalen Konzertveranstaltung mit durchaus herausforderndem Programmmaterial einen Höreindruck zu gewinnen.

Am Tag unseres Besuches spielte Candy Dulfer mit Band. Ihre Musik ist ziemlich eindeutig im Bereich Funk angesiedelt, bei einer Reihe von Stücken ist sowohl Durchsetzungsfähigkeit bei Gesang und auch bei verschiedenen Instrumenten gefragt, ebenso wie Präzision der Basswiedergabe.

Von der Tonmischung her reichte das Spektrum des Konzertes von einem homogenen Bigband-Sound, in dem die verschiedenen Instrumente weniger eigenständig hervortraten, sondern sich vielmehr in einen Gesamtsound einfügen sollten, bis hin zu Stücken mit einem starken Fokus auf einen fetten, durchsetzungsfähigen Sound einzelner Instrumente oder Stimmen.

Das Stoll Convertible PA-System hat all dies mit Bravour gemeistert, ohne sich selbst klanglich mit einem ausgeprägten PA-Sound in den Vordergrund zu stellen, vermutlich ist dies auch eine Folge des ProAMT-Einsatzes im Hochtonweg. Über den Verlauf des Konzertes hinweg verfestigte sich bei mir der Eindruck, dass es sich bei dem Stoll Convertible System einfach um eine Plattform handelt, die Sprache und Musik, auch mit unterschiedlichen klanglichen Schwerpunktsetzungen, einfach ins Publikum transportiert.

Tatsächlich erzielt das STOLL Convertible System auch eine hervorragende, sehr gleichmäßige Pegel- und Frequenzverteilung im Konzertraum, allein aus dem Line-Array aus sechs Elementen. Der gesamte Saal von der Bühnenvorderkante über das ganze Parkett bis in die beiden unterschiedlich hohen Ränge wird mit dem ca. 3,6 m langen Line-Array gut versorgt, ohne Fills oder Delay-Speaker. Nur ein kleiner VIP-Balkon unter der Decke ganz hinten oben wird noch mit einem zusätzlichen Lautsprecher versorgt, welcher den Mittelhochtonbereich ab ca. 500Hz auffrischt.

An jenem Abend haben wir ein Funk-Konzert gehört, ich hatte aber den Eindruck, dass das Ganze genauso gut beispielsweise auch für Klassik Open Air funktionieren würde. Dazu muss



Entwickler und Geschäftsführer Dominik Stoll in einem Laborraum von Stoll Audio. Ganz außen sind zwei Convertible-Experimentiersysteme zu sehen, das hohe Lautsprechersystem weiter innen ist die große STOLL CUSTOM Master Grand Studioabhöre, die wir beim Ortstermin zu Vergleichszwecken gehört haben. Unter dem Label STOLL CUSTOM entwickelt und produziert Stoll Audio für die jeweilige Anwendung maßgeschneiderte Lautsprechersysteme für die verschiedensten Einsatzbereiche.

ich anmerken, dass dies nicht etwa eine persönliche Fantasievorstellung von mir ist, sondern ich das zumindest ansatzweise auch hören konnte. Am Nachmittag vor dem Konzert gab es nämlich die Gelegenheit, im Entwicklungslabor von Stoll Audio ein Convertible-System etwas anderen Zuschnitts auch mit einer Reihe von Musikstücken zu hören, die wir bei unseren Lautsprechertests verwenden. Einem solchen möchte ich natürlich nicht vorgreifen, aber das was ich beim Candy Dulfer Konzert und davor gehört habe, war sehr überzeugend. Ich denke dass wir es hier mit einem Beschallungssystem zu tun haben, das den internationalen Vergleich nicht scheuen muss und zudem den Vorteil bietet, jedes Lautsprecherelement wahlweise als Punktschallquelle oder als Line-Array-Element einsetzen zu können.

Stellt sich natürlich auch die Frage nach dem Preis. Der technische Aufwand, den Stoll Audio da treibt, ist wahrlich nicht gering – deshalb kann ein solches System nicht billig sein. Als Anhaltspunkt sagte mir Dominik Stoll vor Ort, dass als Faustregel das Convertible System pro Meter Arraylänge preislich vergleichbar mit international gängigen Systemen ist. Der gewerbliche Nettopreis eines Systems, wie es in der Kulturfabrik Kofmehl installiert ist, mit 12 Stck. Stoll CFR2610 Convertible und vier Stoll IL3500 Infralow liegt inklusive Fluggeschirr bei netto unter 80.000,- Euro.

Literatur:

- [1] Chr. Heil, M. Urban, "Sound Fields radiated by Arrayed Multiple Sound Sources", AES 92th Convention, Wien, 1992
- [2] M. Urban, Chr. Heil, P. Bauman, "Wavefront Sculpture Technology", AES 111th Convention, New York, 2001