Besser für wen?

Säulensysteme im Vergleich zu „normalen“ Lautsprecherboxen

Von Fabian Reimann

Wie die sprichwörtliche „Stangenware“ sind Lautsprechersysteme in schlanker Säulenform momentan allgegenwärtig. Aufgrund ihrer unauffälligen Optik erleben sie einen regelrechten Hype – doch was unterscheidet diese Systeme eigentlich von regulären Beschallungslautsprechern? Welche Vor- und Nachteile ergeben sich aus den unterschiedlichen Bauformen und welche Bedeutung lässt sich daraus für den Praxiseinsatz ableiten?

Kaum ein Hersteller hat momentan kein Beschallungssystem in Säulenform im Angebot. Die Ansätze sind dabei vielfältig, zwei Hauptkategorien lassen sich jedoch ausmachen. Einerseits gibt es modular aufgebaute Systeme, die eine stufenweise Verlängerung der Säule über baugleiche oder zumindest -ähnliche Bausteine ermöglichen. Je nach Anzahl der verwendeten Module ist eine Entzerrung erforderlich, was meist auf elektronischer Ebene geschieht. Andererseits werden derartige Säulenlautsprecher auch in Einzelgehäusen angeboten, wobei dann Anpassungen auf elektronischer Ebene entfallen – von der Handhabung ergibt sich zunächst kein Unterschied im Vergleich zu „regulären“ Lautsprechern. Natürlich existiert eine Vielzahl von Zwischenformen mit zu-/abschaltbaren Hoch- oder Mitteltönern, vollaktiver Ansteuerung jedes Einzellautsprechers und – nicht zu vergessen – DSP-gesteuerter Formung der Abstrahlung, die bei den professionellen Installationssystemen die gezielte Beschallung oder Ausblendung bestimmter Raumbereiche ermöglicht.

In **Abbildung 1** stellen wir zwei einfache und in Sachen Bestückung und Ausstattung durchaus repräsentative Säulensysteme mit zeilenförmig angeordneten Breitbandlautsprechern und mittigem Hochtöner dar, die sich nur durch die Länge des Gehäuses und somit der Anzahl der zum Einsatz kommenden Tiefmitteltöner unterscheiden. Wie man sieht, sind die Gehäuse der kleineren Säule und der danebenstehenden klassischen 12-Zoll/1,4-Zoll-Box in etwa gleich hoch, jedoch ist letztere deutlich breiter.

Welche Folgen das für die praktische Einsetzbarkeit hat, zeigen wir später noch anhand von Messungen.

So wie früher?

Bei vielen Lesern wird bei „Zeilenlautsprechern“ zunächst die Assoziation mit den klassischen ELA-Säulen wach, die man aus Kirchen oder Bahnhofshallen in mehr oder weniger schmerzhafter Erinnerung hat. Prinzipiell ist der Gedanke auch nicht verkehrt, da heute wie damals viele Einzellautsprecher aufgereiht und in einem schmalen Gehäuse montiert werden. Das Richtverhalten der gesamten Zeile basiert auf der Länge der Zeile selbst, der Größe oder dem Abstand der Einzellautsprecher zueinander sowie der Breite des Gehäuses.

Die ursprüngliche Erinnerung an den „gewöhnungsbedürftigen“ Klang vieler ELA-Säulen sollte man jedoch beiseitelassen. Durch moderne Chassis und Schallführungen ergeben sich einige Verbesserungen, die trotz der „althergebrachten“ Herangehensweise deutlich besser klingende Lautsprecher ermöglichen.

Nicht selten tauchen in Herstellerprospekten bei der Beschreibung solcher Zeilenlautsprecher nun die Schlagwörter „Line-Array(-Effekt)“ oder „Zylinderwelle“ auf. Diese Begriffe bezeichnen die zum De-Facto-Standard der Beschallungsindustrie avancierten Großbeschallungssysteme, was vor allem auf die Forschung und Entwicklung der französischen Firma L-Acoustics seit Anfang der 1990er Jahre zurückgeht.

Zwar lassen sich auch bei kurzen Säulenlautsprechern begrenzt derartige Eigenschaften feststellen, bei solchen Katalogangaben dürften allerdings Kriterien des Marketings und die sprachliche Verknüpfung mit dem „Profilager“ eine wesentliche Rolle spielen.

Zeilenanordnung und ausgedehntes Nahfeld

Werden Lautsprecher übereinander aufgereiht, entsteht eine Zeile, die in der vertikalen Richtung eine größere Richtwirkung entfaltet als ein Einzellautsprecher. Dieser Effekt setzt natürlich auch schon bei geringen Mengen ein, beispielsweise bei der klassischen 2x12-Zoll-Box. Grundsätzlich wird das nur relevant, wenn sich dabei tatsächlich wesentliche Auswirkungen auf die Richtcharakteristik des Lautsprechers ergeben, was in erster Linie von der reinen Größe des Lautsprechers abhängig ist.

Theoretisch strahlen Linienquellen (zum Beispiel bei Zeilenanordnungen von Lautsprechern), in Abhängigkeit von der Länge der Schallquelle, einen Ausschnitt einer Zylinderwelle ab. Befindet man sich im Nahfeld einer Linienquelle, fällt der Schalldruckpegel pro Entfernungsverdoppelung um lediglich 3 dB ab. Im Gegensatz hierzu ist bei „herkömmlichen“ Lautsprechern, die also keine Linienquellen einsetzen und daher sphärische Wellenfronten abstrahlen, ein Verlust von 6 dB Schalldruckpegel pro Entfernungsverdoppelung einzukalkulieren.

Allerdings ist der gewünschte Effekt einer „erhöhten Reichweite“ der Linienschallquelle nicht unbegrenzt gültig und an einige Bedingungen gekoppelt.

Zunächst einmal ist die Ausdehnung des Nahfeldes von der Länge der Schallquelle sowie der Frequenz abhängig. Wird eine frequenzabhängige Grenze überschritten, geht das (ausgedehnte) Nahfeld ins Fernfeld über – hier beträgt der Pegelverlust dann wieder 6 dB. Eine einfache Formel, die die Berechnung des Übergangswertes erlaubt, lautet:

$$r = \frac{l^2 \cdot f}{2c}$$

Wobei *l* die Länge des Lautsprechers, *f* die fragliche Frequenz und *c* die Schallgeschwindigkeit ist.

Im Beispiel unserer beiden Schallzeilen **(Abb. 1)**, die ca. 0,7 m bzw. 1,14 m hoch sind, beträgt der Grenzwert für den Übergang vom Nah- ins Fernfeld bei der Frequenz von 1 kHz demnach etwa 0,72 m und 1,9 m. Daran wird deutlich, dass sich für mittlere Frequenzen nur ein unwesentlicher „Reichweitenvorteil“ gegenüber konventionellen Lautsprechern ergibt. Etwas anders sieht es schon für hohe Frequenzen aus; hier reicht das ausgedehnte Nahfeld bei 8 kHz schon bis 5,76 m bei der kleinen und bis 15,3 m bei der großen Säule.

Wer zur Lösung der Gleichung keinen Taschenrechner zur Hand hat, für den stellen wir im „Mehrwert“-Bereich unter www.tools4music.de ein Excel-Dokument bereit, in dem für die Berechnung des Grenzwertes nur noch Länge und Frequenz eingetragen werden müssen. So kann man schnell abschätzen, bis zu welcher Frequenz in der Praxis mit einer erhöhten Reichweite zu rechnen ist.

Zu beachten ist bei diesen Beispielen, dass sie von einer Lautsprecherzeile ausgehen, die das gesamte Frequenzspektrum über die volle Gehäusehöhe abstrahlt. Wird, wie bei den hier gezeigten Mehrwegelautsprechern, etwa ein mittiges Hochtonhorn verwendet, ist die Betrachtung im Grunde hinfällig, und der Effekt eines ausgedehnten Nahfeldes lässt sich allenfalls bei mittleren Frequenzen beobachten, wo noch mehrere der Breitbänder, die weiter entfernt voneinander montiert sind, im selben Frequenzbereich arbeiten.

Schallführungen

Beim genaueren Blick auf die zu vergleichenden Lautsprecher wird der Unterschied in der Gestaltung der Hochtonhörner deutlich. In **Abb. 3** sieht man das Hochtonhorn der 12-Zoll-Box, was klassischer nicht sein könnte und vom Hersteller mit 60 x 40° Öffnungswinkel angegeben wird. Die Schallführung aus dem Zeilenlautsprecher **(Abb. 4)** sieht da schon wesentlich interessanter aus. Sie kommt bei diesem Lautsprecher zwar nur als Einzelstück vor, weshalb ihr eigentlicher Einsatzzweck bei der Bildung einer langen Linie für den Hochtonbereich mit mehreren übereinander angeordneten Hörnern nicht zum Tragen kommt, dennoch strahlt sie auch für sich betrachtet schon mit einem deutlich engeren vertikalen Winkel ab, als es das Vergleichshorn aus **Abb. 3** tut. Hiermit wird der relativ

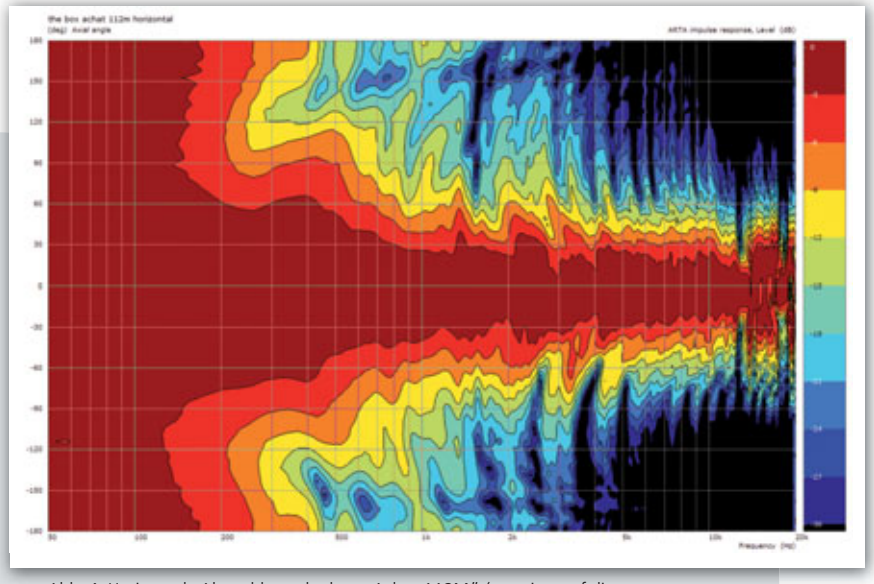


Abb. 4: Horizontale Abstrahlung the box „Achat 112M" (normiert auf die gemittelte Maximalamplitude, Winkelauflösung 5°)

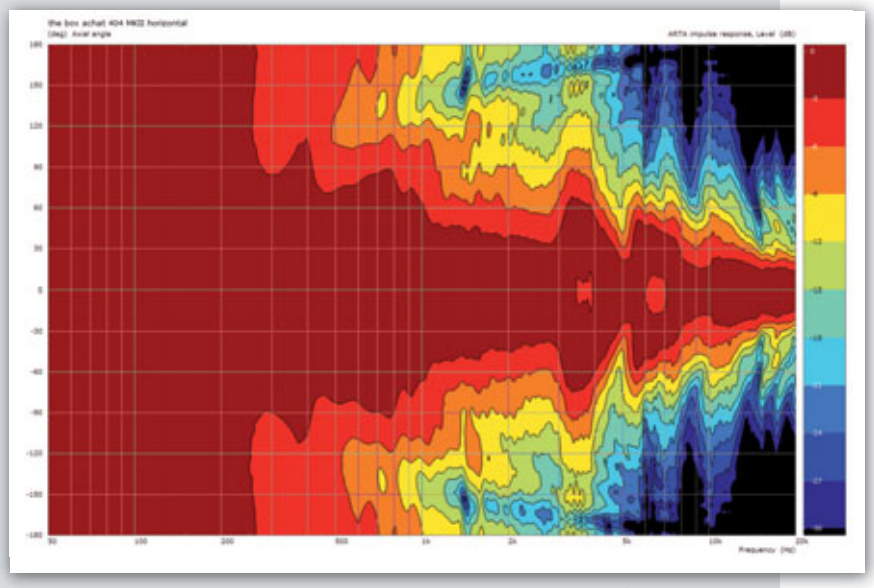


Abb. 5: Horizontale Abstrahlung the box „Achat 404 MkII" und 804 MkII (normiert auf die gemittelte Maximalamplitude, Winkelauflösung 5°)

enge vertikale Abstrahlwinkel der übereinander angeordneten Breitbänder in den Zeilenlautsprechern konsequent fortgesetzt – in Werbeprospekten wird hierfür und in Abgrenzung zu „normalen" Hörnern der Begriff „Waveguide" (zu deutsch: Wellenleiter) gepflegt. Die Bedingungen, unter denen Hochtonschallführungen in Line Arrays eingesetzt werden können, und die daran gekoppelten notwendigen Eigenschaften sind recht komplex und würden den Rahmen dieses Beitrages sprengen, weshalb wir dem geneigten Leser an dieser Stelle einen Blick in die Literaturliste empfehlen (Info-Kasten; hier vor allem Heil/Urban).

Breite der Schallwand und Folgen für die Aufstellung

Wie schon zuvor besprochen, ist die Länge der Zeilenlautsprecher im Wesentlichen dafür verantwortlich, dass sich eine verstärkte Richtwirkung in der vertikalen Ebene einstellt. Jedoch muss auch die Breite eines Lautsprechergehäuses betrachtet werden, weil sich daraus ebenso Rückschlüsse auf das Abstrahlverhalten ziehen lassen.
Sind die Abmessungen der Lautsprecher bei tiefen Frequenzen klein gegenüber der Wellenlänge (zur Veranschaulichung: Die Wellenlänge bei 100 Hz beträgt ca. 3,4 m, bei 1 kHz jedoch nur noch 34 cm), dann wird die abgestrahlte Schallwelle um das Gehäuse herum gebeugt, sodass sich die Welle kugelförmig ausbreitet.

Wird ein Frequenzbereich erreicht, wo die Wellenlänge der vom Lautsprecher abgestrahlten Frequenz der Breite des Gehäuses entspricht, wirkt die Schallwand wie eine reflektierende Fläche und die Abstrahlung wechselt vom kugel- ins halbkugelförmige. Misst man den Wirkungsgrad vor dem Lautsprecher, steigert sich der Pegel um 6 dB. Dieser Übergang geschieht schlagartig und hinterlässt regelrecht eine Stufe im Frequenzgang (Stichwort: Baffle Step).
Wichtig ist nun die Erkenntnis, dass der Übergang von kugel- zu halbkugelförmiger Abstrahlung im Tieftonbereich von der Breite der Schallwand abhängt. Er geschieht „früher" (also schon bei höheren Frequenzen), je schmaler die Schallwand des Lautsprechers ist (und natürlich „später", je breiter die Schallwand ausfällt).

LITERATUR & WEITERFÜHRENDES

- David Klepper und Douglas Steele: „Constant Directional Characteristics from a Line Source Array", JAES Vol. 11, No. 3 (1963); Link: www.ee.ic.ac.uk/naylor/LineSourceLoudspeakers/klepper63.pdf
- Christian Heil und Marcel Urban: „Sound Field Radiated By Arrayed Multiple Sound Sources", AES Convention Paper #3269 (1992); Link: www.l-acoustics.com/aes/WST_1992.zip
- Christian Heil, Marcel Urban und Paul Bauman: „Wavefront Sculpture Technology", AES Convention Paper #5488 (2001); Link: www.l-acoustics.com/aes/WST_1992.zip
- Anselm Goertz und Michael Makarski: „Line-Arrays in Theorie und Praxis", Prolight&Sound VPLT Seminar, (2009); Link: www.ifaa-akustik.de/files/PLS-VPLT-2009-AG.pdf
- Meyer Sound Technical Report: „Line Arrays: Theory, Fact and Myth" (2002); Link: http://meyersound.com/pdf/support/papers/meyer_line_array.pdf
- Duran Audio: „Array Theory"; Link: www.duran-audio.com/index.php?page=array-theory
- BMS: Datenblatt des in **Abb. 3** zu sehenden Hochton-Waveguides BMS 4510; Link: http://bmsspeakers.com/fileadmin/bms-data/product_data_2011/compression_drivers_neodymium/bms_4510nd_2011-04_neodymium_planar_wave_driver.pdf

Abb. 2: Hochtonhorn der 12-Zoll-Box (Öffnungswinkel 60 x 40°)

Abb. 3: Hochtonhorn der beiden Säulensysteme (Öffnungswinkel 100 x 20°, Datenblatt inklusive seitlichem Schnitt in der Literaturliste)

Das zeigen die Messungen der horizontalen Abstrahlung beider Lautsprechertypen sehr anschaulich (**Abb. 4** und **5**). Während die 12-Zoll-Box erst ab ca. 250 Hz kugelförmig abstrahlt, ist das bei den schmalen Säulenlautsprechern schon ab etwa 600 Hz der Fall.

In der Praxis handelt man sich durch die verringerte Rückwärtsdämpfung schmaler Säulenlautsprecher Probleme ein: Stehen die Lautsprecher auf Höhe der Bühne oder seitlich hinter den Lautsprechern mehrere Mikrofone auf der Bühne, dann kann es schon problematisch sein, wenn der nach vorne übertragene Pegel im Tief- bzw. Tiefmitteltonbereich genauso hoch ist wie der Pegel hinter den Lautsprechern – die Gefahr von Rückkopplungen steigt und der einschlägige „Mittenmulm" auf der Bühne.

Von manchen Herstellern wird daher empfohlen, die Säulensysteme hinter der Bühne und in Wandnähe aufzustellen – auf diese Weise würde man sich sogar ein separates Monitoring-System sparen, da die PA ja Publikum wie Musiker gleichermaßen beschallt.

Bei diesen Aufstellungsempfehlungen handelt es sich um eine direkte Konsequenz aus den zuvor geschilderten Rückwirkungen der physikalisch bedingten, relativ schlechten Rückwärtsdämpfung solcher Systeme zu tiefen Frequenzen – da die Lautsprecher bei seitlicher Positionierung oder bei Aufstellung vor der Bühne die beschriebenen Probleme verursachen, kann eine Positionierung möglichst direkt vor einer Bühnenwand bes-

Anzeige

IN EAR MONITORING
TOOLS FÜR PRO-AUDIO
AKKULADETECHNIK

FA
www.fischer-amps.de
Telefon: +49 (0) 62 91- 6 48 79 0
Email: info@fischer-amps.de

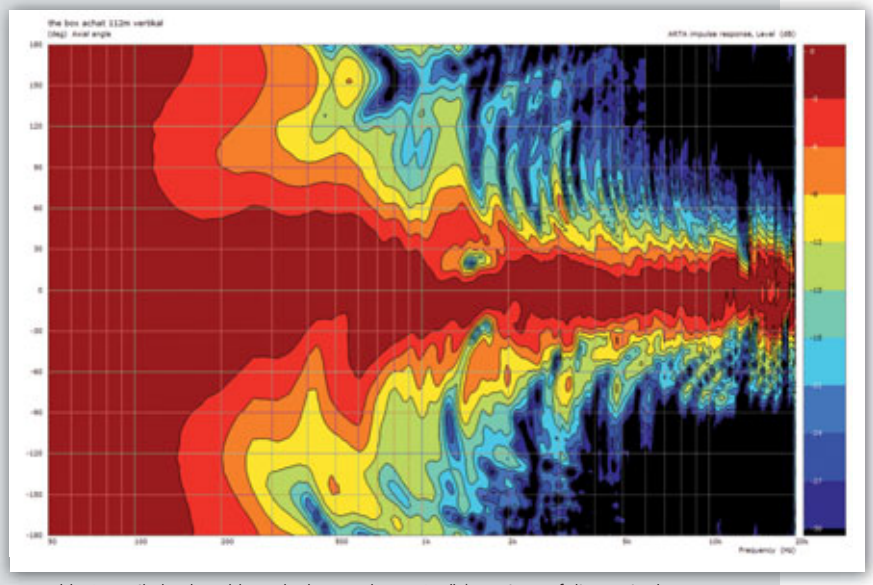


Abb. 6: Vertikale Abstrahlung the box „Achat 112M" (normiert auf die gemittelte Maximalamplitude, Winkelauflösung 5°)

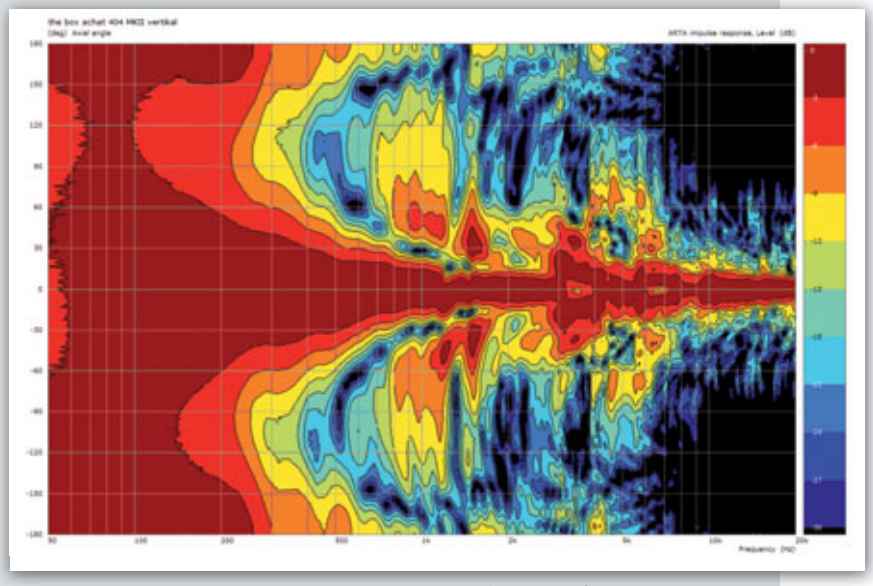


Abb. 7: Vertikale Abstrahlung the box „Achat 404 MkII" (normiert auf die gemittelte Maximalamplitude, Winkelauflösung 1°)

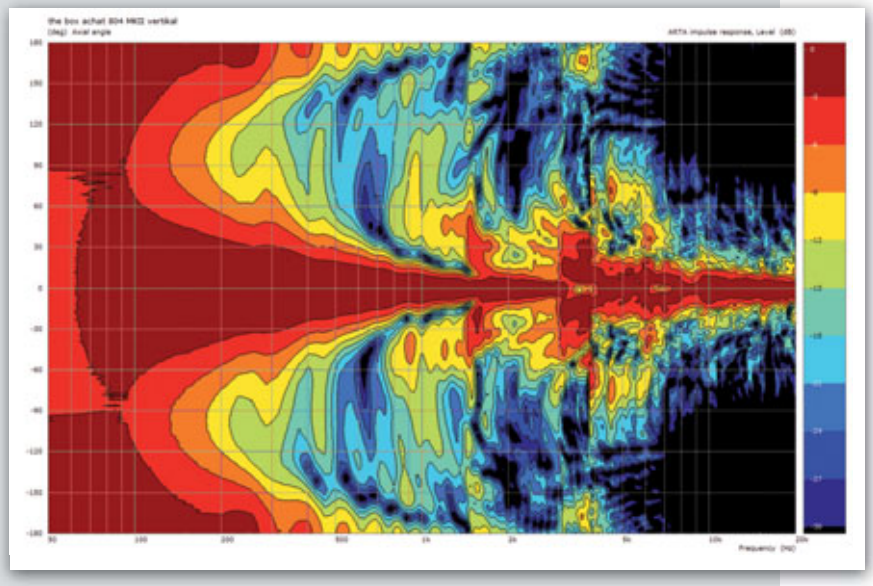


Abb. 8: Vertikale Abstrahlung the box „Achat 804 MkII" (normiert auf die gemittelte Maximalamplitude, Winkelauflösung 1°)

sere Ergebnisse erzielen. Trotzdem handelt es sich meiner Meinung nach um einen Kompromiss, da hier der maximal mögliche Pegel bis zum Feedback deutlich geringer ausfällt als bei einer Positionierung, bei der die Lautsprecher nicht direkt in die Einsprechrichtung der Mikrofone zeigen – auch wenn in den Ausführungen mancher Hersteller (ohne jede technische Nachvollziehbarkeit!) das genaue Gegenteil behauptet wird.
Das günstigste Ergebnis erzielt man mit horizontal sehr breit und vertikal relativ eng abstrahlenden Säulensystemen, wenn sie etwas über der Höhe der Bühne geflogen oder mit einem großen Stativ auf Höhe gebracht (und dann angewinkelt) werden. So wird der Bühnenbereich wie gewünscht möglichst wenig mitbeschallt. Leider bieten nur wenige Hersteller derartige Aufstellanleitungen und entsprechendes Montagematerial.

Richtverhalten im Vergleich

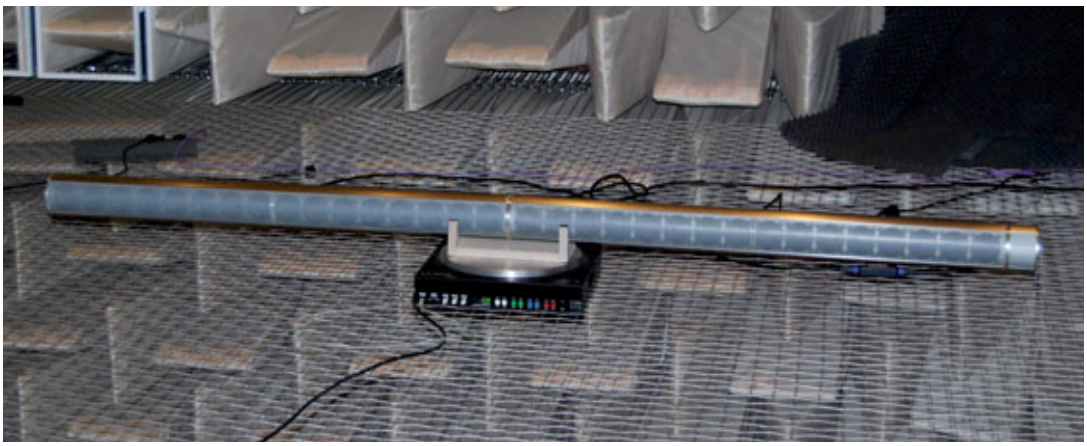
Beim Blick auf das vertikale Abstrahlverhalten der Zeilenlautsprecher im Vergleich mit der regulären 12-Zoll-Box (**Abb. 6 bis 8**) zeigt sich zunächst, dass letztere ganz erwartungsgemäß beim Übergang auf das Hochtonhorn oberhalb von 2 kHz einen schön gleichmäßigen Verlauf mit etwa 40° Öffnungswinkel bietet. Im Gegensatz hierzu strahlt die Kombination aus einer (mehrfach gefilterten) Zeilenanordnung aus Mitteltönern und eng öffnendem Horn der Säulenlautsprecher bereits ab 1 kHz relativ eng ab und erreicht hier im Mittel etwa 20°.

Somit werden, bei Verwendung in geschlossenen Räumen, Decke und Boden deutlich weniger angeregt und es kann, richtige Ausrichtung der Säulen auf das Publikum vorausgesetzt, eine bessere Sprachverständlichkeit erzielt werden als mit den „herkömmlichen" Lautsprechern. Kombiniert mit dem zuvor erwähnten ausgedehnten Nahfeld (welches je nach Machart des Lautsprechers mal mehr, mal weniger tatsächlich vorhanden ist) und dem somit verringerten Pegelabfall über der Tiefe des Raumes, bieten sich derartige Zeilenlautsprecher also vor allem in akustisch schwierigen Umgebungen mit vielen stark reflektierenden Flächen und hoher Nachhallzeit an.
Ein Blick in **Abb. 8** im Vergleich zu **Abb. 6** zeigt, dass die Länge der Zeile tatsächlich einen wesentlichen Einfluss auf die Richtcharakteristik hat. Hier wird der Abstrahlwinkel zu tiefen Frequenzen hin deutlich schmaler und die unerwünschte Anregung des Raumes infolgedessen geringer.

Länger

Für diesen Artikel hatten wir die Möglichkeit, ein modular aufgebautes Säulensystem von Schwarzwild Audio (**Abb. 9**) zu messen, was es uns erlaubt, schrittweise die Veränderung der vertikalen Richtwirkung zu demonstrieren. Bei den gemessenen Lautsprechern handelt es sich um Breitbandlautsprecher, die immer in Viereranordnung und ohne Schallführung betrieben werden. Bei den Messungen im Vergleich (**Abb. 10** bis **12**) wird deutlich, wie der Öffnungswinkel (der scharfe, mittige „Strahl") mit Steigerung der Zeilenlänge immer enger

wird. Während die 4x3-Zoll-Säule etwa 30° Öffnungswinkel bei 2 kHz hat, verringert sich das auf 10° bei der auf 16x3-Zoll verlängerten Säule. Ebenso steigert sich hier die Richtwirkung im Tieftonbereich und könnte natürlich noch beliebig gesteigert werden, je nachdem, wie viele Module man bereit ist, parallel zu schalten.



Im Hochtonbereich zeigen sich dann aber auch die ersten Problemstellen einer solchen Zeilenanordnung, wo die Lautsprecher in einem Frequenzbereich gemeinsam betrieben werden, in dem sie es idealerweise nicht mehr tun sollten. Ab 4 kHz werden kräftige Nebenkeulen sichtbar (was einer weiteren Hauptabstrahlrichtung neben der erwarteten 0°-Achse entspricht), die durch den Abstand der Chassis von etwa 8,5 cm zueinander bedingt werden. Idealerweise sollten die Lautsprecher nur bis zu einer gemeinsamen Frequenz betrieben werden, in dem sie gegenüber der Wellenlänge noch nicht zu weit auseinanderliegen. Bei vielen Beschallungslautsprechern, vor allem der unteren Preiskategorien, wird dieser Bereich jedoch gerne überdehnt oder völlig ignoriert. Das Ergebnis sind Störungen im Abstrahlverhalten wie die hier gezeigten Nebenkeulen.

Abb. 9: Großer Zeilenlautsprecher von Schwarzwild Audio, modular zusammengesetzt zu einer Gesamtlänge von ca. 2,7 m (32 x 3-Zoll-Breitbandchassis) auf dem Drehteller zur Messung der vertikalen Abstrahlung

Was für wen?

Hauptsächlich unterschieden sich schmale Säulenlautsprecher von ihren „herkömmlichen“ Konkurrenten (wie der klassischen 12-Zoll-/1,4-Zoll-Box) durch einen relativ engen vertikalen, aber auch deutlich breiteren

Anzeige

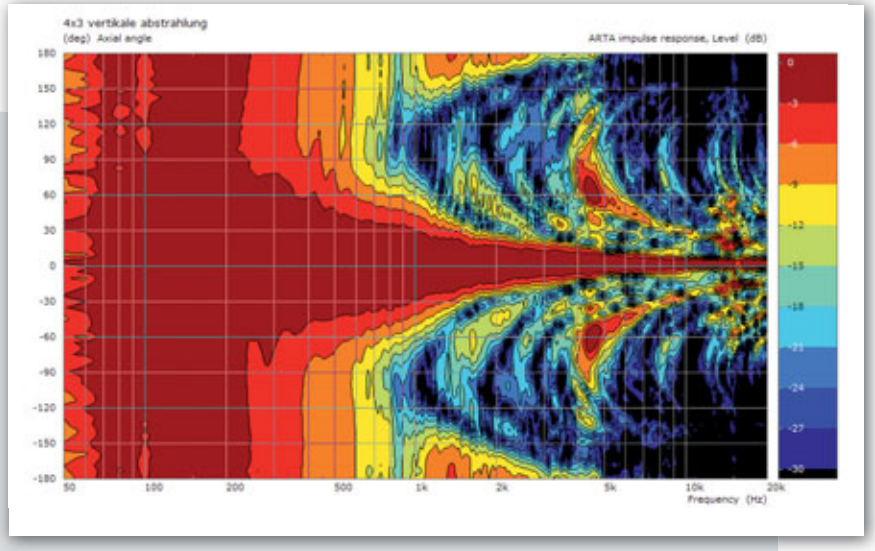


Abb. 10: Vertikale Abstrahlung Schallzeile mit 4 x 3-Zoll-Breitbändern (normiert auf die gemittelte Maximalamplitude, Winkelauflösung 5°; Schwarzwild Audio)

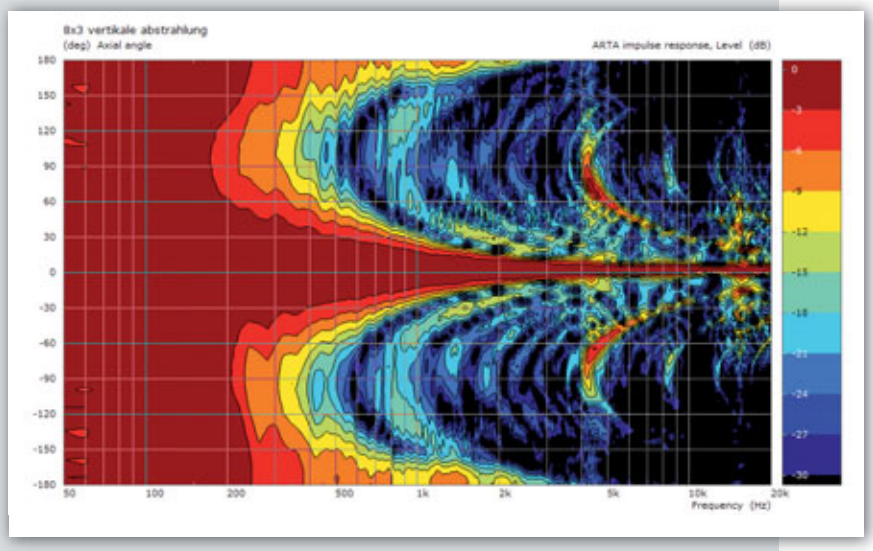


Abb. 11: Vertikale Abstrahlung Schallzeile mit 8 x 3-Zoll-Breitbändern (normiert auf die gemittelte Maximalamplitude, Winkelauflösung 5 Grad; Schwarzwild Audio)

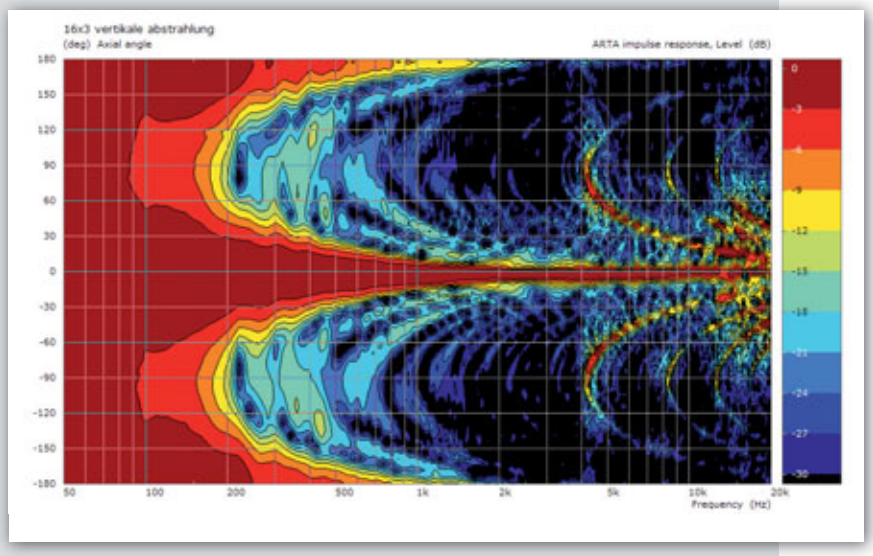


Abb. 12: Vertikale Abstrahlung Schallzeile mit 16 x 3-Zoll-Breitbändern (normiert auf die gemittelte Maximalamplitude, Winkelauflösung 5°; Schwarzwild Audio)

horizontalen Abstrahlwinkel. In Kombination mit einer mal mehr, mal weniger starken Ausdehnung des Nahfeldes ergibt sich somit ein Lautsprechertyp, der in Räumen mit schwieriger Akustik Vorteile zeigen kann. Jedoch ist hier ohne eine Mindestlänge von 1,0 bis 1,5 m in der Praxis meist kein signifikanter Vorteil gegenüber konventionellen Lautsprechern erzielbar – als Faustregel kann man sagen: „Je größer der Raum, desto länger muss die Säule sein."

Ein weiteres Problem bei den meist „zu kurzen" Säulen in der Praxis besteht darin, dass sich für hohe Frequenzen zwar eine erhöhte Reichweite (durch die beschriebene Ausdehnung des Nahfeldes) ergeben kann – bei den Tiefen und Tiefmitten ist dies aber nicht der Fall. Durch den Techniker wird meist versucht, den Mangel an Tiefmitten im Publikumsbereich durch Filterung auszugleichen. In Kombination mit der verhältnismäßig schlechten Rückwärtsdämpfung schmaler Zeilenlautsprecher ergibt sich eine unheilvolle Kombination, da bei Anhebung der Tiefmitten der Bühnenbereich ebenso stark davon in Mitleidenschaft gezogen wird und sich Feedback-Probleme und der einschlägige „Mittenmulm" immer weiter steigern können.
Die Vorteile eines engen vertikalen Abstrahlwinkels und eines (frequenzabhängig) ausgedehnten Nahfeldes werden bei vielen günstigen Zeilenlautsprechern daher häufig mit einer ganzen Reihe anderer Kompromisse erkauft.
Zudem schwächeln viele Zeilenlautsprecher im Tief- und Tiefmitteltonbereich, da ihre kleinen Chassis nicht in der Lage sind, den für tiefe Frequenzen mit hohem Pegel notwendigen Membranhub bereitzustellen. Hier hat die klassische 12-Zoll-Box die Nase vorn. Im Gegenzug erreichen eine Vielzahl von kleinen Breitbandchassis im Mitteltonbereich vergleichbare Pegel, jedoch mit deutlich geringeren nichtlinearen Verzerrungen, und klingen hier „natürlicher". Dieses Verhältnis dreht sich im Hochtonbereich jedoch wieder um, wo die Ansammlung von Breitbandchassis einem Hochtontreiber gegenüber klanglich meist im Nachteil ist.

Insgesamt betrachtet bin ich der Ansicht, dass die klassische 12-Zoll-/1,4-Zoll-Box etwas multifunktioneller und für die Mehrzahl der Anwender leichter bedienbar ist als ein Säulenlautsprecher. Mit vernünftig konstruierten Zeilen kann man jedoch, die richtige Aufstellung und Bedienung vorausgesetzt, vor allem in akustisch schwierigen Räumen bessere Resultate erzielen.

Natürlich beziehen sich die hier geäußerten Vor- und Nachteile auf eine gedachte „Mitte" des Markts, die es bei Einzelprodukten mit individuellen Stärken und Schwächen so nicht gibt. Eben aus diesem Grund testen wir Boxen jeglicher Couleur und Preisklasse, um die spezifischen Produkteigenschaften (sowohl von „Säulen" als auch „Kisten") in verständlicher Form deutlich werden zu lassen. ■

Noch Fragen? redaktion@tools4music.de