

PRODUCTION PARTNER

GETESTET
PRODUCTION PARTNER



Dynacord Vertical Array

„... Die Anlage besticht in allen Lagen von den Messwerten über den Höreindruck bis hin zu Handhabung und Verarbeitung. In der Praxis dürfte sich vor allem das für viele Anwendungen optimal angelegte enge vertikale und breite horizontale Abstrahlverhalten als positives Merkmal herausstellen, vor allem dann, wenn es um akustisch schwierige Räume geht...“ (Auszug aus dem Fazit)



Das Nachrichtenportal rund um die Medienwelt- und Technik

powered by
PRODUCTION PARTNER

Die TS400 ist ein kompaktes Array, das sich für Beschallungen unter schwierigen akustischen Bedingungen eignen soll. Wir haben seine Funktionsweise untersucht und zeigen den Unterschied zur klassischen 12/2-Box.

In den vergangenen Jahren gab es bei der Entwicklung von Beschallungslautsprechern zwei Trends: zum einen den Einsatz von Line-Arrays, außerdem die Aktivierung der Lautsprecher mit integrierten Endstufen und Controllern. Letzteres wurde vor allem durch moderne HF-Schaltnetzteile und PWM-Endstufen möglich, die ohne riesige Netztrafos und große Paraden von Kühlkörpern auskommen und somit Gewicht und Volumen der Lautsprecher nur noch unwesentlich erhöhen. Die Line-Arrays betreffend begann zunächst alles mit den großen Touring-Systemen und setzte sich immer weiter auch zu kleineren Einheiten hin fort, sodass heute oftmals für kleine Bühnen, Fill-Systeme, Dancefloors und auch als Monitorsysteme Line-Arrays zum Einsatz kommen. Der Vorteil liegt auf der Hand oder besser gesagt in der Raumakustik, die man in den meisten Fällen gerne etwas ausblenden würde – das gelingt am besten mit Lautsprechern, die ein ausgeprägtes Richtverhalten aufweisen.

Grundsätzliches zu Line-Arrays

Für typische Beschallungsaufgaben ist der Wunsch für das Abstrahlverhalten ein mehr oder weniger breiter horizontaler, aber enger vertikaler Winkel: Das Publikum bzw. die Zuhörer befinden sich meist in einer Ebene breit aufgestellt, die gut und gleichmäßig beschallt werden soll und alles andere sollte so weit wie möglich ausgeblendet werden.

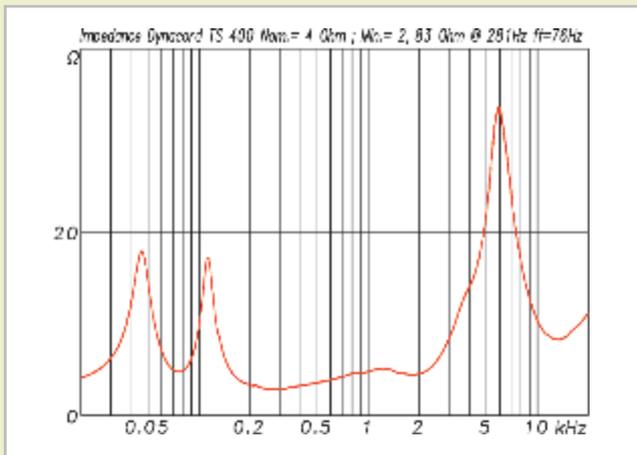
Genau das ist auch die Eigenschaft der Line-Arrays, die zudem, falls aus einzelnen Einheiten bestehend, auch noch durch das Curving in der Vertikalen angepasst werden können. Hier wird es dann allerdings schon wieder etwas komplizierter, wie das Line-Array zu konfigurieren und in Position zu bringen ist. Für viele typische Anwendungen in kleinerem Rahmen wäre daher schon ein einfacher Lautsprecher mit breitem horizontalen und engem vertikalen Abstrahlwinkel ohne weitere Einstellmöglichkeiten die fast optimale Lösung. Wie ist dieser Anforderung nun am besten nachzukommen? Hörner eignen sich für sehr enge Abstrahlwinkel nur beschränkt und auch erst für höhere Frequenzen, oder sie werden richtig groß. Eine mögliche Lösung ist daher Dynacords Kombination aus einem Linienstrahler plus einem Horn für die hohen Frequenzen.

TS400: Zeile mit frequenzabhängiger Länge plus Horn

Diese Kombination wurde in der Dynacord TS400 umgesetzt. Vier 6"-Tieftöner sind als Linie angeordnet und mit einem 90 × 40 Grad Horn kombiniert. Das Horn setzt bei 2,6 kHz ein und erreicht hier



Die TS400 ist aus einem Aluminium-Stranggussprofil hergestellt und wiegt nur 17 kg



Impedanzverlauf des Topteils TS400. Das nominelle 4-Ω-System kommt mit einem recht niedrigen Minimum von 2,83 Ω daher, die jedoch in Anbetracht des eigenen passenden Systemverstärkers unkritisch sind.

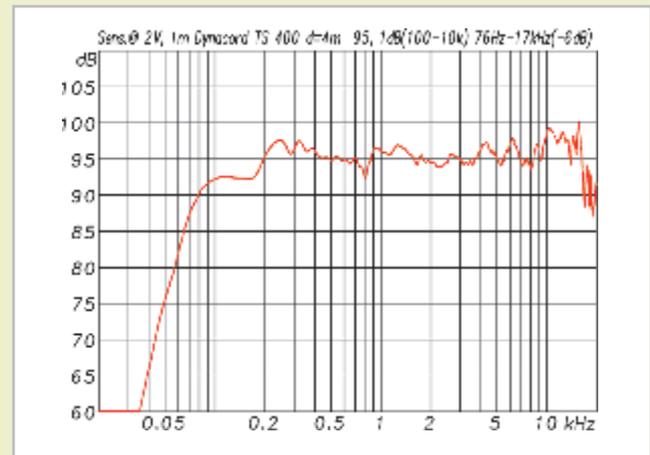


Abb. 2: Frequenzgang des Topteils TS400 mit einer mittleren Sensitivity von 95,1 dB (von 100 Hz bis 10 kHz) und einem insgesamt sehr schön gleichmäßigen Verlauf

auch schon fast den gewünschten 40° -Winkel. Möchte man diesen engen Winkel aber auch für tiefere Frequenzen noch effektiv nutzen, dann wäre die übliche Kombination mit einem 12"-Tieftöner nicht geeignet, da dieser sein Abstrahlverhalten zu tieferen Frequenzen hin schnell aufweitet. Die Lösung liegt nun darin, die Membranfläche des 12"-Tieftöners auf vier 6"-Treiber aufzuteilen und diese als Linie anzuordnen, die dann durch ihre Form schon fast das gewünschte Verhalten – breit in der Horizontalen und eng in der Vertikalen – aufweist.

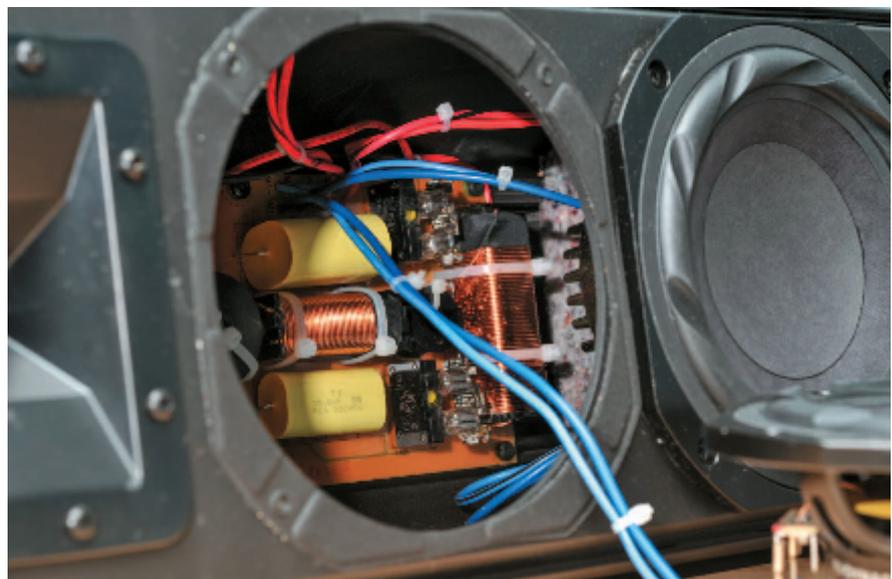
Was bleibt, ist noch der kleine Schönheitsfehler, dass sich der vertikale Öffnungswinkel bei der Länge der Zeile bis zum Übergang auf den Hochtöner schon zu sehr einschnürt. Die TS400 ist daher so aufgebaut, dass zwei der insgesamt vier 6"-Tieftöner direkt ober- und unterhalb des Hochtöners angeordnet sind. Diese beiden Treiber werden dann auch bis zum Übergang auf den Hochtöner bei 2,6 kHz betrieben. Die beiden anderen sind weiter unten und auch in einem etwas vergrößerten Abstand eingebaut. Diese beiden Tieftöner werden über die Weiche bereits früher abgetrennt, sodass sie nur für tiefe Frequenzen wirksam sind und sich so der Abstrahlwinkel in den oberen Mitten nicht zu extrem einschnürt. Im Prinzip wird hier also genau das in einfacher Weise umgesetzt, was auch die modernen DSP-gesteuerten Lautsprecherzeilen bewirken: sie versuchen, das Verhält-

nis der effektiven Strahlerlänge zur Wellenlänge des abgestrahlten Schalls ansatzweise konstant zu halten. Genau betrachtet ist die TS400 damit eine $2\frac{1}{2}$ -Wege-Box mit einer Zeilenanordnung frequenzabhängiger Länge im Tiefmitteltonbereich in Kombination mit einem klassischen 90×40 Hochtonhorn.

Die effektive Membranfläche der vier 6"-Tieftöner entspricht dem eines klassischen 12"-Treibers, sodass man jetzt ein kompaktes Topteil mit der gewünschten Kombination aus einem breiten horizontalen und

einem engen vertikalen Abstrahlverhalten hat. Die Besonderheit gegenüber einer normalen 12/2-Box ist der weite Wirkungsbereich dieses Abstrahlwinkels, der weit herab zu den Tief-Mitten reicht. Aus optischer Sicht ermöglicht das Konzept der TS400 zudem auch noch eine besonders schlanke und schmale Bauform, die sich gut seitlich an der Bühne noch unterbringen lässt.

Das 199 mm breite und 935 mm hohe Gehäuse der TS400 ist aus einem Aluminium-Stranggussprofil hergestellt, das mit



Blick ins Innere der T400 auf die großzügig aufgebaute passive Weiche mit Glühlampen als Überlastungsschutz. Das Gehäuse besteht aus einem Aluminium-Stranggussprofil.

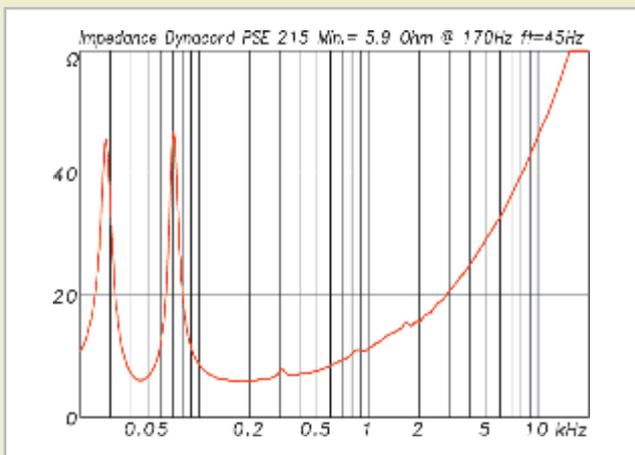


Abb. 3: Impedanzverlauf des passiven Subwoofers PSE215. Das Impedanzminimum liegt bei 5,9 Ω und die Tuningfrequenz des Bassreflexgehäuses bei 45 Hz.

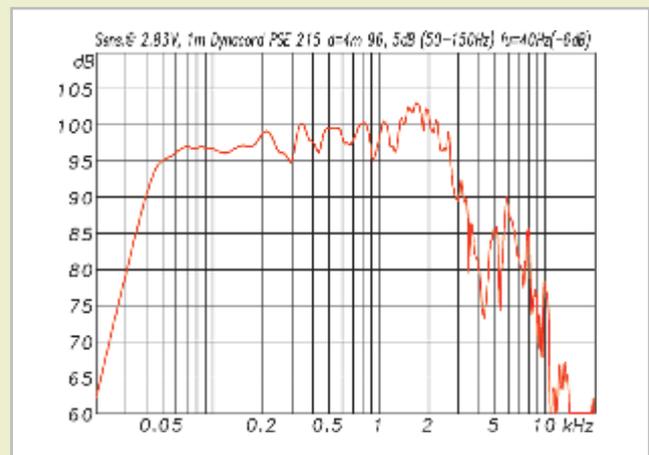


Abb. 4: Frequenzgang des Subwoofers PSE215 mit einer mittleren Sensitivity von 96,5 dB (von 50 bis 150 Hz) und einer unteren Eckfrequenz (-6 dB) von 40 Hz

nur wenigen Millimetern Wandstärke eine besonders schlanke und leichte Bauweise ermöglicht. Mit einem Gewicht von nur 17 kg, trotz der insgesamt fünf Treiber in der Box, lässt sich die TS400 mit dem auf der Rückwand aufgesetzten Griff so auch noch leicht handhaben und locker auf ein Stativ setzen. Als Zubehör gibt es für die TS400 einen speziellen Neigungsadapter, bei dem sich über eine Stellschraube der Neigungswinkel präzise einstellen lässt. Das weitere Zubehör umfasst noch eine Transporttasche und ein Flying-Kit für die Aufhängung der Box.

Für den Betrieb der TS400 gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zunächst einmal ist die Box selber über ihre passive Weiche bereits so abgestimmt, dass ein Betrieb ohne Controller gut möglich ist. Es sollte jedoch zumindest ein Hochpassfilter im Signalweg gesetzt werden, um die Box vor ausgeprägten Tiefbässen zu schützen. Eine sinnvolle Einstellung wäre hier ein HP-Filter 2. oder 4. Ordnung bei 70 Hz. Für den Betrieb mit Dynacord-Controllern oder Controller-Amps gibt es Filter-Settings für IIR- und FIR-Filter sowie für die notwendigen Limiter-Einstellungen. Die FIR-Filter können mit dem Dynacord IRIS-Net genutzt werden, z. B. im DSP600-Controller oder mit einer Endstufe mit IRIS-Net-Karte.

Je nach Art des Einsatzes wird man sich zur TS400 auch einen Subwoofer wünschen. Hier ist es die eleganteste und einfachste Art, einen der aktiven Dynacord-Subwoofer

PSD215 oder 218 mit integrierten Endstufen und Controller zu nutzen, an denen man die TS400 nur noch anschließen und das gewünschte Setup auswählen muss und schon ist alles optimal konfiguriert. Zum Test wurde die TS400 mit einem PSD215-Subwoofer und einer zusätzlichen passiven PSE215-Bassexension zusammengestellt. Näheres hierzu an einer späteren Stelle. Schauen wir uns jedoch zunächst die TS400 solo aus der messtechnischen Perspektive an. Der Impedanzverlauf verrät eine Abstimmfrequenz des Bassreflexgehäuses auf 76 Hz und einen im Übernahmehereich stark bedämpften Hochtoner, der durch einen passiven Vorteiler an die Sensitivity der Tieftöner angepasst wird. Der Hochtontreiber ist der weit verbreitete Electro-Voice DH-3 mit 1"-Anschluss und 32-mm-Titanmembran. Für die vier Tieftöner werden OEM-Chassis mit Neodymantrieb von Eighteen Sound eingesetzt, die gut an ihrer charakteristisch gewellten Membranaufhängung zu erkennen sind. Die spezielle Form der Sicke reduziert Partialschwingungen der Membran im mittleren und höheren Frequenzbereich, was für die TS400 mit einer Trennfrequenz von 2,6 kHz ein wichtiger Aspekt ist.

Der Frequenzgang der TS400 aus Abbildung 2 zeigt einen schön ausgeglichenen Verlauf mit einer mittleren Sensitivity zwischen 100 Hz und 10 kHz von 95,1 dB und Eckfrequenz (-6 dB) von 76 Hz und 17 kHz am unteren und oberen Ende. Die Stufe in der Fre-

quenzgangkurve bei 200 Hz wäre sicherlich auch noch passiv auszugleichen gewesen. Allerdings nur dann, wenn die Sensitivity der Box als Ganzes auf den Wert von 92 dB abgesenkt worden wäre. Bei einer HiFi-Box wäre das bestimmt sinnvoll, für eine PA-Box allerdings nicht, da damit auch viel Leistung in den passiven Frequenzweichenbauteilen unnötig verheizt würde. Lässt man alle weiteren Änderungen durch Controller etc. außer Acht und betrachtet die TS400 nur für sich, dann hat man es schon mit einem guten und für viele Zwecke auch schon Fullrange-tauglichen Topteil zu tun.

Um die Box auch für den Betrieb ohne Controller vor Überlastung zu schützen, sind zudem alle drei Wege mit Schutzschaltungen ausgestattet. Vor dem Hochtoner befindet sich die klassische Glühlampen-Schaltung. Die beiden Tieftonwege sind über Relais geschützt, die bei Überlast öffnen, dabei aber den Treiber auch nicht komplett vom Signal trennen, sondern über Glühlampen ansteuern. Der Vorteil liegt darin, dass die gefährdeten Wege nicht komplett abschalten und die Weiche somit nicht als reiner Schwingkreis am Verstärker hängt. Alle Schutzschaltungen in der TS400 sind selbstständig reversibel.

Aktiv- / Passiv-Subwoofer PSD215 und PSE215

Zu einer kompletten Mini-PA wird die TS400 in Kombination mit einem der akti-

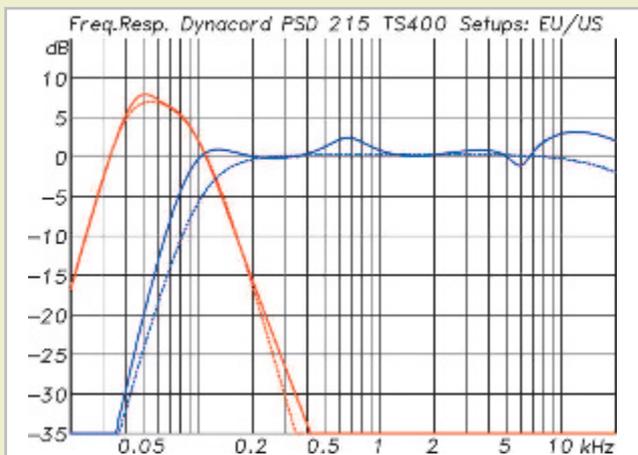


Abb. 5: Controller-Frequenzgänge für den Sub (rot) und für das TS400 Top (blau) in den Einstellungen EU (durchgezogene Linien) und US (gestrichelte Linien)

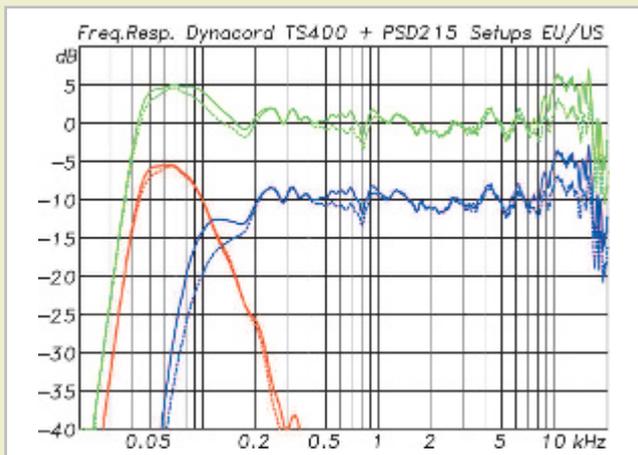


Abb. 6: Frequenzgänge der Kombination aus TS400 (blau) und PSD215 (rot) sowie deren Summenfunktionen (grün) für die EU- und US- (gestrichelt) Setups

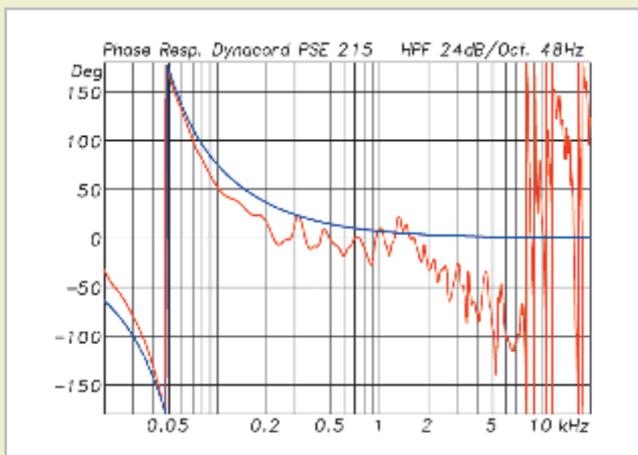


Abb. 7: Phasengänge der Kombination aus TS400 (blau) und PSD215 (rot) sowie deren Summenfunktionen (grün) für das EU-Setup



15"-Treiber von EV in der PSD15. Gut zu erkennen sind die Belüftungen der Schwingspule mit den kleinen Gitterchen zum Schutz vor eindringendem Schmutz

ven Subwoofer PSD215 oder PSD218, die mit einem 15"- oder 18"-Treiber bestückt sind. Um die integrierten Endstufen auch voll auslasten zu können, gibt es beide Subwoofer auch ohne Elektronik als Extensions PSE215 und PSE218, die dann einfach zum internen Treiber parallel betrieben werden. Die passive PSE215 eignete sich somit auch bestens, um zunächst die Performance des Subwoofers als solches ohne Elektronik zu messen und zu bewerten.

Äußerlich sind der aktive und der passive 215-Subwoofer nur von der Rückseite zu unterscheiden. Beide Boxen haben Abmessungen von 640 × 465 × 694 mm und ein Gewicht von 39,6 kg mit Elektronik sowie von 33,8 kg ohne Elektronik.

Im Innern verrichtet ein 15"-Chassis von Electro-Voice seinen Dienst. Der Treiber ist von seinen Thiele-Small-Parametern für kompakte Bassreflexgehäuse ausgelegt und arbeitet hier mit einer Tuningfrequenz von 45 Hz, wie sich aus der Impedanzkurve in Abbildung 3 ablesen lässt. Gut zu erkennen sind auf dem Foto der große Ferrit-Magnet und die seitlichen Lüftungsöffnungen hinter den Lochgittern. Hier kann die im Luftspalt durch die Schwingspule erwärmte Luft entweichen.

Der Frequenzgang der PSE215 aus Abbildung 4 zeigt zwischen 50 und 150 Hz eine beachtliche mittlere Sensitivity von 96,5 dB und einen fast geradlinigen Verlauf bis 45 Hz hinab. Legt man den -6 dB-Punkt in Relation zu den 96,5 dB zu Grunde, dann liegt die untere Eckfrequenz genau bei 40 Hz. Die PSE215 zeigt damit die typischen Eigenschaften eines klassischen 15"-Subwoofers: Der Frequenzgang reicht nicht ganz so tief hinab, dafür liegt die Sensitivity sehr hoch. Wer noch etwas mehr Tiefbass möchte, kann als Alternative zur größeren und etwas schwereren PSD(E)218 greifen.

Endstufen und Controller

Eine wirklich gute PA erkennt man nicht nur an den Messwerten und am guten Klang, sondern auch an der Betriebssicherheit und Bedienbarkeit. Letztendlich hilft die schönste Anlage nicht, wenn

schon beim Aufbau substanzielle Fehler gemacht werden können. Controller können falsch konfiguriert, Lautsprecher falsch verkabelt und Endstufen mit unpassenden Leistungen oder Gain-Werten eingesetzt werden. Solchen Problemen beugt man bei Dynacord mit der Kombination aus aktivem Subwoofer mit zusätzlicher Endstufe für das Topteil und integriertem Controller vor. Controller und Endstufen und somit auch die Limiter im Controller sind so sicher passend zueinander abgestimmt.

Für den Anschluss der Lautsprecher bedarf es lediglich eines oder mit zusätzlichem passiven Subwoofer zweier kurzer Speakon-Kabel, mit denen auf Grund einer klaren Beschriftung nicht viel falsch gemacht werden kann. Da die Subwoofer mit diversen Topteilen kombiniert werden können, muss der Anwender noch einmalig das passende Setup für die TS400 auswählen und schon kann es losgehen. Wer noch etwas am Sound drehen möchte, findet in den Funktionen des kleinen Controllers noch einen einfachen grafischen 6-Band-EQ. Zur Anpassung des Subwoofers an die Tops verfügt der Controller über Pegel-, Delay- und Polarity-Einstellungen für den Sub-Kanal. Da es sich bei dem eingebauten Digitalcontroller um ein 1-in-3-Gerät handelt, gibt es noch einen freien Weg, der natürlich nicht ungenutzt bleiben sollte, sodass man bei Dynacord noch einen Line-Pegel-Ausgang



Bedieneinheit am aktiven Subwoofer mit einem einfachen 6-Band-EQ

spendiert hat, an dem z. B. eine weitere Self-powered-Box als Frontfill angeschlossen werden kann. Für diesen Weg gibt es ein Hochpassfilter, einen einfachen Shelving-EQ sowie ein Delay und eine PegelEinstellung. Hier wurde also an alles gedacht, was man auf kleinen Club-Bühnen oder auch für DJ-Acts braucht.

Skeptiker könnten an dieser Stelle bemerken, dass es immer noch reichlich Möglichkeiten gibt, Fehler zu machen, was nicht ganz von der Hand zu weisen ist. Der anfälligste Punkt, das Controller-Amp-Rack, ist jedoch eliminiert, und es werden nur noch wenige kurze Lautsprecherkabel benötigt. Die Bedienung des integrierten Controllers

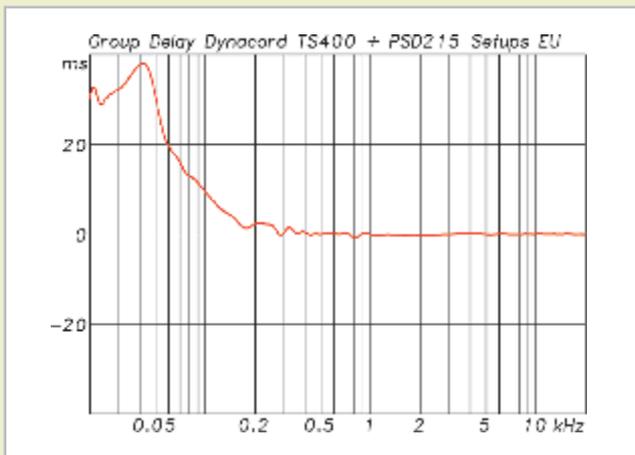


Abb. 8: Laufzeitkurve für die Kombination aus TS400 mit PSD215 abgeleitet aus dem Phasengang der Summenfunktion in Abb. 7

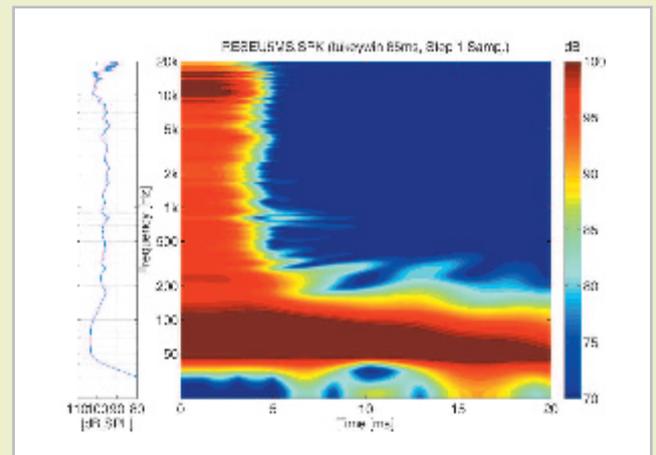


Abb. 9: Spektrogramm für die Kombination aus TS400 mit PSD215, das System ist weitgehend frei von Resonanz

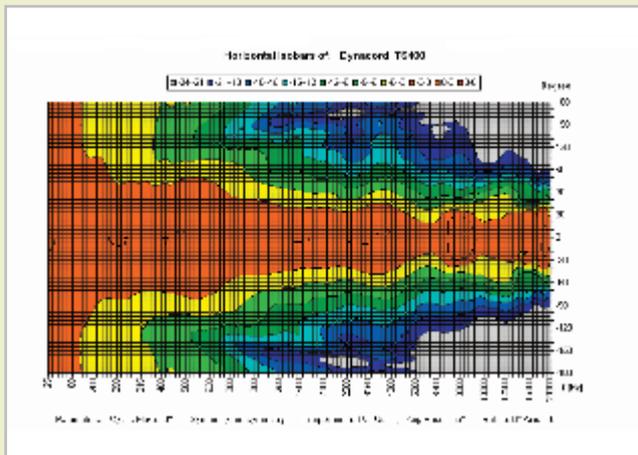


Abb. 10: Horizontale Isobarenkurven der TS400 mit einem nominalen Öffnungswinkel von 90°

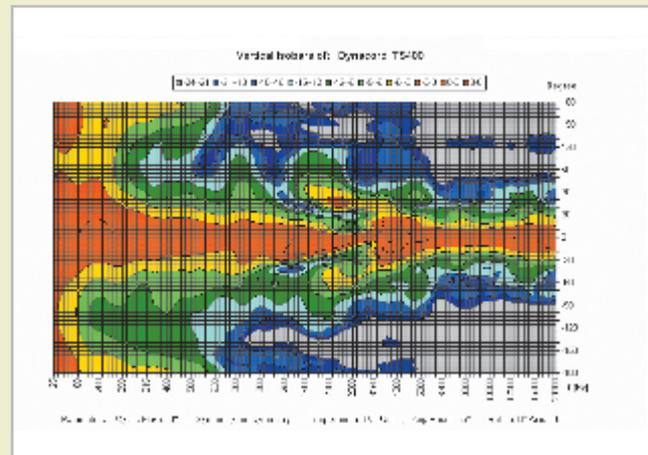


Abb. 11: Vertikale Isobarenkurven der TS400 mit einem nominalen Öffnungswinkel von 40°. Durch das geschickt konstruierte 2^{1/2}-Wege-System wird der enge Abstrahlwinkel über einen sehr weiten Frequenzbereich bis 300 Hz hinab erreicht.

ist zudem so übersichtlich und einfach gestaltet, dass man sich auch ohne tieferes Verständnis für die Technik dahinter sofort zurecht findet.

Was der Controller im Detail, macht, zeigt Abbildung 5. Große Korrekturen sind für die Kombination aus TS400 und PSD215 nicht notwendig, da beide Lautsprecher schon in sich gut abgestimmt sind. Interessant ist jedoch die Unterscheidung zwischen einem

US- und einem EU-Setup, in dessen Rahmen man sich vorstellt, wie zum einen die Techniker in Straubing das System nach ihrem Geschmack einstellen und zum anderen die Konzernkollegen bei Electro-Voice in den USA. In der US-Abstimmung sind die Höhen etwas weniger kräftig angehoben und unterhalb von 200 Hz fehlen 1–2 dB. Nimmt der Anwender selber Einstellungen vor, die auch später wieder

verfügbar sein sollen, dann können diese auf den Speicherplätzen für User-Presets abgelegt werden.

Die Endstufen im PSD215 sind als PWM Class-D-Schaltungen aufgebaut und bieten maximal 2 × 1.000 Watt jeweils an 4 Ω. Das heißt, hier können ein 4-Ohm-Topteil und zwei 8-Ohm-Subwoofer angeschlossen werden, womit das System dann voll ausgelastet ist.

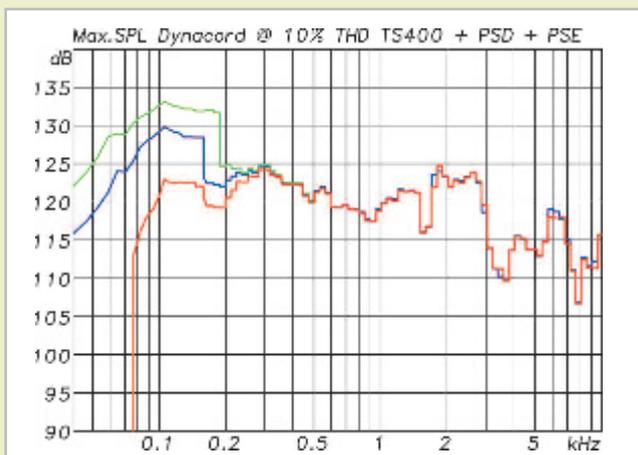


Abb. 12: Maximalpegel für höchstens 10 % Verzerrungen für eine TS400 (rot) mit PSD215 (blau) und mit PSD215 plus PSE215 (grün)

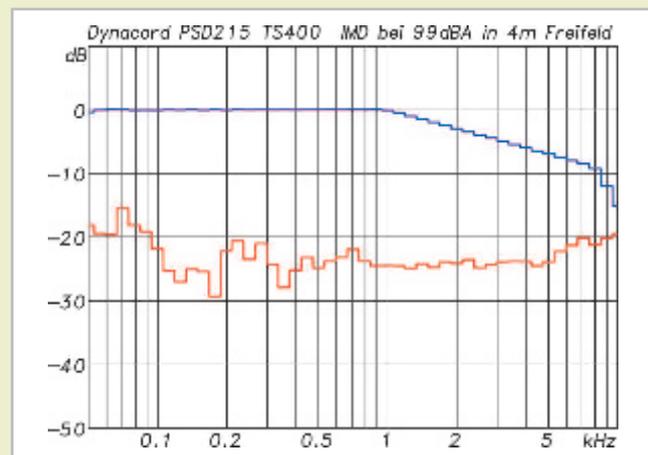


Abb. 13: Intermodulationsverzerrungen bei 99 dBa L_{eq} in 4 m Entfernung im Freifeld. Die blaue Kurve zeigt die spektrale Verteilung des Messsignals mit einer Verteilung nach EIA-426B. Der Crestfaktor des Testsignals betrug 12 dB.

Der Phasengang: konstruktive Ursachen und praktische Auswirkungen

Zu jedem Frequenzgang (korrekter: Amplitudenfrequenzgang) gehört auch ein Phasengang. Beides zusammen ist der komplexe Frequenzgang, der sich durch eine Fourier-Transformation (FFT) aus der Impulsantwort eines System, hier der Lautsprecher, herleiten lässt. Der Phasengang wird dabei meist entweder vernachlässigt oder auch gerne mystifiziert. Immer wenn es irgendwie komisch klingt und keiner so recht weiß, warum, kommt schnell die Erklärung auf, dass es wohl irgendwie mit der Phase zusammenhängt.

Hier sind verschiedene Phänomene zu unterscheiden, die gerne auch vermischt werden:

Zum einen spricht man von Phasenproblemen oder Phasenauslöschung, wenn sich Signale aus mehreren Quellen überlagern sowie addieren und diese in der Phasenlage nicht übereinstimmen. Das können z. B. zwei Lautsprecher sein, die nebeneinander stehen und das gleiche Signal abstrahlen. Je nach Position des Zuhörers kommt es dabei zu unterschiedlichen Laufzeiten der beiden Quellen, die sich dann in der Addition der beiden Signale abhängig von der Frequenz als konstruktive oder destruktive Interferenzen zeigen (Kammfilter). Das Kammfilter ist wegen seiner starken Auswirkungen im Amplitudenverlauf gut hörbar und wird gerne auch als so genanntes „Phasing“ bezeichnet.

Das System Lautsprecher an sich hat auch einen Phasengang, was bedeutet, dass Signale unterschiedlicher Frequenz nicht exakt gleichphasig abgestrahlt werden. Gibt man parallel ein 100-Hz- und ein dazu synchronisiertes 200-Hz-Sinussignal auf einen Lautsprecher und schaut sich diese dann als Schalldruckverlauf wieder an, so wird man bei fast allen Lautsprechern feststellen, dass es eine Verschiebung der beiden Sinuswellen zueinander gibt. Lagen die Nulldurchgänge der beiden Signale vorher zusammen, dann sind sie danach zueinander verschoben. Wenn die Phasendrehung genau 360° oder ein ganzzahliges Vielfaches davon beträgt, ist der Unterscheid im stationären Zeitsignal nicht mehr zu erkennen, im Phasengang über der Frequenz jedoch wohl.

Abbildung 1 (rote Kurve) zeigt dazu den Phasengang des 15"-Tieftöners der PSE215 im Bassreflexgehäuse. Die Phasenlage verändert sich über der Frequenz über alles betrachtet um 360° . Auf das vorab genannte Beispiel bezogen könnte man hier ablesen, dass die 100- und 200-Hz-Sinussignale mit einem Phasenversatz von 37° wiedergegeben werden. Der Verlauf der Phase mit 360° Drehung zu den tiefen Frequenzen hin ist typisch für eine Bassreflexbox, die sich wie ein akustisches Hochpassfilter 4. Ordnung verhält. Die 360° sind dabei der so genannte minimalphasige Anteil, also die Phasendrehung, die ein Filter dieser Art mindestens verursacht. Der rechnerische Phasengang der reinen Hochpassfilterfunktion ist in Abbildung 1 zusätzlich zum Phasengang des Lautsprechers noch in Blau eingezeichnet. Der reale Lautsprecher weicht von diesem Verlauf etwas ab, weil noch verschiedene Nebeneffekte mitspielen.

Wir halten an dieser Stelle fest: Jeder Lautsprecher ist auch ein akustisches Filter mit einem entsprechenden Phasengang. Hinzu kommen die Phasengänge der elektrischen Filter in der Weiche, woraus sich die Phase des Gesamtsystems ergibt, ganz genau so, wie auch beim Amplitudenfrequenzgang. Betrachten wir im nächsten Schritt dazu den Phasengang des 2-Wege-Topsteils TS400 in Abbildung 2, hier passiert jetzt deutlich mehr. Die rote Kurve weist am unteren Ende wieder den schon bekannten Verlauf für einen Hochpass 4. Ordnung auf. Zu den höheren Frequenzen hin beginnt die Kurve jedoch in kräftige Phasendrehungen überzugehen, die weit über den auch wieder in Blau eingezeichneten minimalphasigen Anteil hinaus gehen. Die Minimalphase basiert hier auf der Annahme eines X-Over Filters 2. Ordnung. Wie kommt es jetzt zu den Abweichungen? Blickt man

in die Box, dann offenbart sich die Ursache umgehend. Der Hochtontreiber mit einem Horn befindet sich am hinteren Ende des Lautsprechergehäuses und die Tieftöner in der Frontplatte im vorderen Bereich. Durch diesen Abstand von ca. 9 cm entsteht ein Laufzeitversatz von 0,27 ms, der sich mit zunehmender Frequenz als immer stärker werdender Phasenversatz darstellt. Schaut man sich die rote Phasenkurve an, dann liegen zwischen 1 kHz und 11,3 kHz $3 \times 360^\circ$ Phasendrehung, die sich aus den 9 cm Ver-

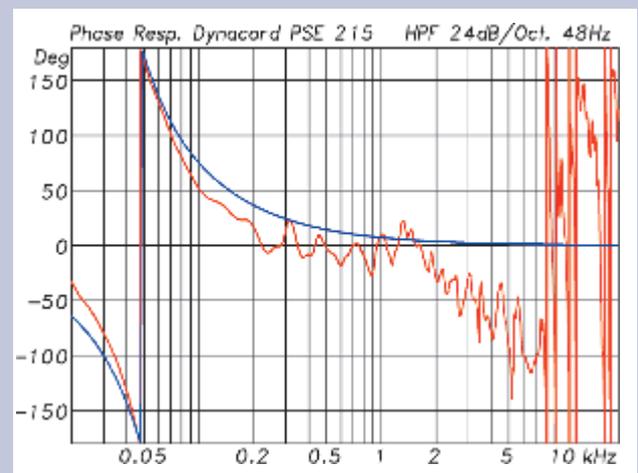


Abb. 1: Phasengang der PSE215 in rot. In blau eine rechnerische Kurve für einen Hochpass 4. Ordnung mit 48 Hz Eckfrequenz.

satz in Relation zu einer Wellenlänge von 3 cm bei 11,3 kHz ergeben.

Anschaulich gut zu erkennen ist dieser Versatz auch in der Impulsantwort des Lautsprechers in Abbildung 3. Hier kommt zunächst der Impulsanteil des Tieftöners und dann mit 0,27 ms Verzögerung der des Hochtöners.

Bezieht man die Phasendarstellung auf das zuerst eintreffende Signal, somit auf den Tieftöner (rote Kurve in Abbildung 2), dann eilt der Hochtöner nach, d. h. in der Darstellung des Phasenganges fällt die Phase im Frequenzbereich des Hochtöners stark. Nimmt man den Hochtöner als Bezug, dann eilt der Tieftöner vor und es kommt zu einer steigenden Phase (grüne Kurve in Abbildung 3). Üblich ist der Bezug auf den ersten Impuls, da der Lautsprecher ein kausales System ist und es auch in der Darstellung keine nichtkausalen Anteile

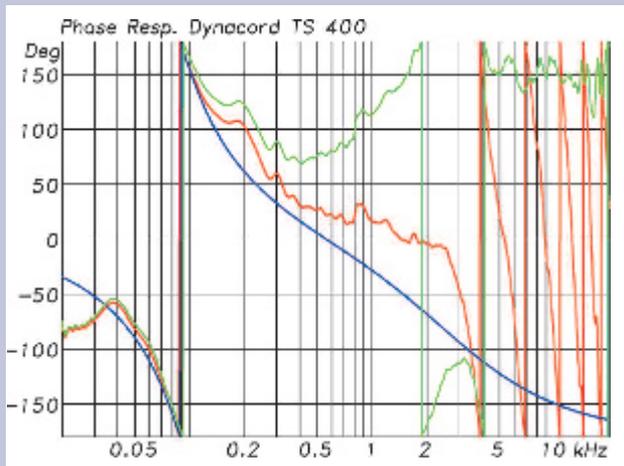


Abb. 2: Phasendarstellung für die TS400 in rot bezogen auf den Tieftöner und in grün auf den Hochtöner. In blau eine rechnerische Kurve für einen Hochpass 4. Ordnung und ein X-Over Filter 2. Ordnung.

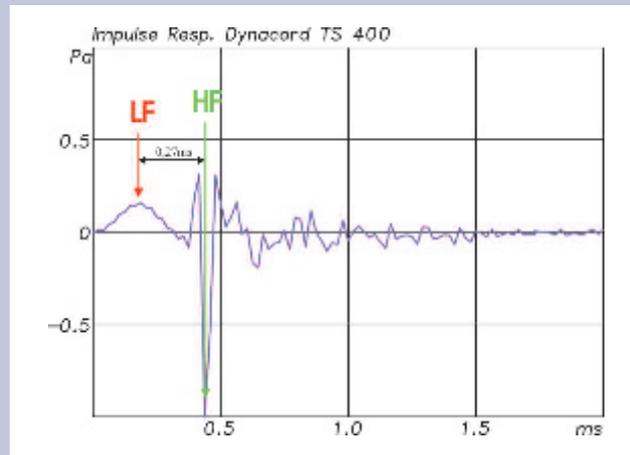


Abb. 3: Laufzeitdifferenz zwischen Hochtöner (HF) und Tieftöner (LF) von ca. 0,27 ms entsprechend ca. 9 cm räumlichen Versatzes

geben sollte. Man kann somit zusammenfassen, dass beides – partiell stark fallende Phasengänge oder auch ansteigende Phasen in der Darstellung – ein Hinweis auf einen Laufzeitversatz zwischen den Wegen eines Lautsprecher sind. Der angestrebte Verlauf wird in der Regel der unumgängliche minimalphasige Anteil (in Abbildung 3 die blaue Kurve) sein.

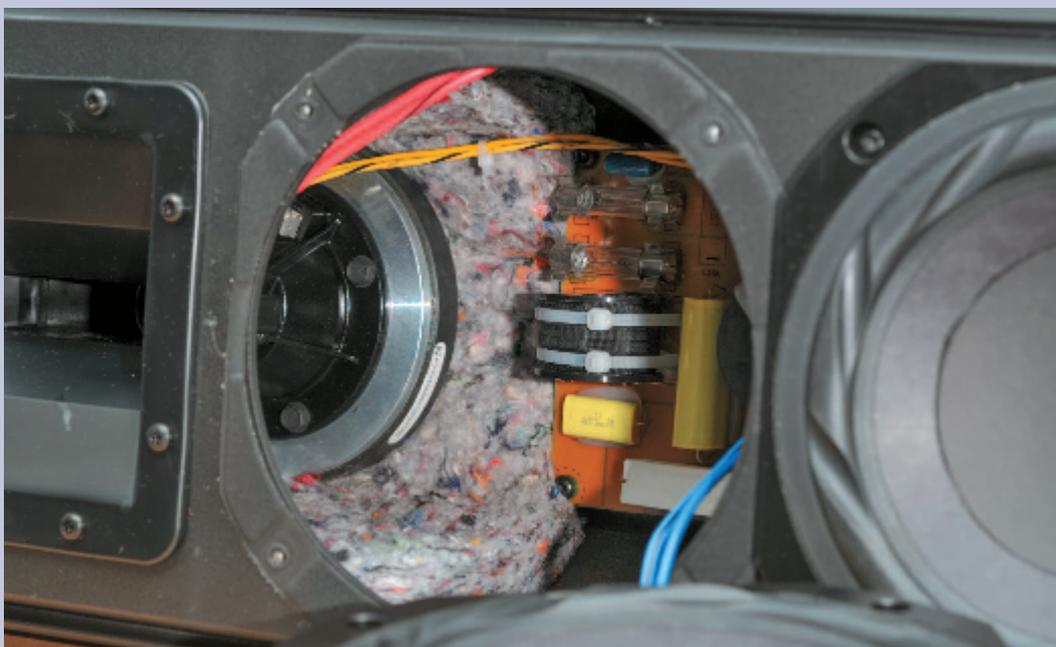
An dieser Stelle schließen sich jetzt noch zwei Fragen an: Wie erreicht man diesen Wunschverlauf und wenn nicht, wie machen sich Abweichungen im Höreindruck bemerkbar? Hat man es mit einer

aktiven Box zu tun, dann kann der Laufzeitversatz leicht durch ein entsprechendes Delay im Signalweg der weiter vorne angeordneten Lautsprecher angeglichen werden. Soll die Korrektur jedoch mit passiven Filtern vorgenommen werden, dann sind Allpassfilter erforderlich, die diverse neue Probleme verursachen und zudem auch noch aufwändig und teuer sind. Viele oder besser gesagt: fast alle Hersteller machen das genau deswegen nicht.

Es bliebe somit zu diskutieren, welche Auswirkung das hat. Der Primäreffekt ist die Auswirkung im Phasengang. Als sekundä-

re Effekte kann es noch zu Welligkeiten im Frequenzgang im Bereich der Übernahme kommen, ebenso wie sich dort auch Unregelmäßigkeit in der Directivity einstellen können. Die beiden letzt genannten Auswirkung werden indirekt über den Frequenzgang hörbar. Schaut man sich dazu den Frequenzgang und die vertikale Directivity der TS400 an, dann sind hier keine Unregelmäßigkeiten zu erkennen. Die Entwickler in Straubing haben das Problem somit im Griff. Was bleibt, ist der Primäreffekt der starken Phasendrehung vom Tieftöner zum Hochtöner. Hier ist es zum

Glück so, dass die Wahrnehmung von direkten Phasendrehungen ohne weitere Auswirkungen in der Amplitude nur sehr schwach ist. Würde man also einen Hörvergleich von zwei in der Amplitude völlig identischen Signalen vornehmen, die sich nur im Phasengang unterscheiden, entsprechend der roten und blauen Kurve in Abbildung 3, dann wäre es sehr schwierig – und wenn überhaupt, nur unter ansonsten idealen Bedingungen – möglich, einen Unterschied zu erkennen.



Der nach hinten versetzte 1"-Hochtontreiber EV DH-3



2 $\frac{1}{2}$ -Wege-Box als Zeile frequenzabhängiger Länge im Tiefmitteltonbereich kombiniert mit 90 × 40

Top plus Sub gemessen

Schaut man sich alles zusammen an, dann stellen sich die Kurven entsprechend Abbildung 6 ein. In der Kombination einer PSD215 mit einer TS400 weist der Summenfrequenzgang eine Höhen- und Bassüberbetonung von jeweils ca. 5 dB auf, was für einen kräftigen satten Sound sorgt. Die gestrichelten Linien zeigen auch hier wieder die US-Setups. Unabhängig davon ist es auf jeden Fall erforderlich, in der Kombination mit einem zusätzlichen passiven Subwoofer den Pegel im Sub-Kanal um 6 dB abzusenken, sonst wird es zu heftig. Der zweite Subwoofer bietet dann vor allem mehr Reserven, wenn es im Bass richtig laut werden sollte.

Die zugehörigen Phasengänge für das EU-Setup finden sich in Abbildung 7. Topteil und Subwoofer harmonisieren hier perfekt und ergänzen sich somit auch bestens. Im gesamten Übergangsbereich von 50 Hz bis über 200 Hz decken sich die Phasengänge vom Subwoofer (rot) und Topteil (blau). Wäre das nicht der Fall, dann würde die Addition der beiden Wege weniger gut gelingen, was je nach Aufstellung durch Laufzeitunterschiede dann trotzdem noch passieren kann. Über das separat einstellbare Subwoofer-Delay und die Polarität kann dann versucht werden, die Phasenlagen wieder in Einklang zu bringen, was nicht ganz einfach ist. Am einfachsten und besten ist es daher, Topteil und Subwoofer möglichst eng zusammen aufzustellen oder zumindest in einer Ebene, z. B. das Topteil per Stativstange auf dem Subwoofer.

Der Phasengang über alles betrachtet weist zu den tiefen Frequenzen hin $3 \times 360^\circ$ Phasendrehung auf, die durch die X-Over-Funktion 4. Ordnung, das akustische Hochpassfilter in Form des Bassreflex-Subwoofers und durch das zusätzlich elektrische Hochpassfilter 4. Ordnung am unteren Ende des Frequenzbandes entstehen. Alles zusammen resultiert in einem Maximum der Gruppenlaufzeit (Abb. 8) von knappen 40 ms. Ein solcher Wert ist natürlich schon recht viel, lässt sich aber auch nicht umgehen, ohne die notwendigen Filter nicht zu sehr in ihrer Steilheit zu schwächen.

Oberhalb von 2,5 kHz dreht sich die Phase auffällig stark. Schaut man sich das Topteil genauer an, dann liegt die Ursache direkt auf der Hand. Der Hochtontreiber befindet sich einige Zentimeter weiter hinten im Gehäuse als die Tieftöner, wodurch ein Laufzeitversatz entsteht. Mit einer passiven Weiche ist dieser Versatz nur mit recht viel Aufwand in Form von Allpassfiltern zu korrigieren, was auch wieder diverse Probleme, Kosten und Nachteile mit sich bringt. Bei Dynacord hat man sich daher dagegen entschieden.

Im Spektrogramm (Abb. 9) stellt sich die Kombination aus PSD215 und TS400 gutmütig dar. Der gesamte Hochtonbereich ist frei von Resonanzen, auch dort, wo die 6"-Tieftöner bereits im Spiel sind, was für das Konzept der gewellten Membransicken spricht. Eine erste kleine Resonanz ist dann bei 800 Hz zu erkennen. Die Ursache könnte in Gehäusemoden liegen, was aber von dieser Stelle aus nicht eindeutig zu sagen ist.

Directivity

Kommen wir zur Directivity; diese wird durch die vorab schon ausführlich beschriebene Bauform des TS400-Topteils bestimmt. Die Zielsetzung dabei war ein breites horizontales und ein enges vertikales Abstrahlverhalten und das möglichst über einen weiten Frequenzbereich. Im Datenblatt steht zu diesem Thema ein nomineller Abstrahlwinkel von 90×40 .

Die Abbildung 10 zeigt dazu die Isobarenkurven der horizontalen Ebene, die primär durch das Horn in den Höhen und den Membrandurchmesser des Tieftontreibers sowie die Gehäusebreite bestimmt werden. Hier spielt alles gut zusammen, sodass sich im Mittel ab 1 kHz aufwärts ein -6 dB-Öffnungswinkel von zunächst ca. 120° einstellt, der sich dann zu den höheren Frequenzen ab 4 kHz aufwärts auf 90° einengt. Die erheblich anspruchsvollere vertikale Ebene ist mit ihren Isobarenkurven in Abbildung 11 dargestellt. Auch hier ist die Aufgabenstellung bestens erfüllt worden. Der gewünschte Winkel von 40° wird als Mittelwert zwischen 1 und 10 kHz nur ganz knapp überschritten. Im Übergangsbereich

bei der Trennfrequenz von 2,6 kHz gibt es unvermeidlich leichte Turbulenzen, ansonsten ist der Verlauf der Isobaren jedoch gleichmäßig und gerade.

Fasst man beide Ebenen zusammen, dann bedarf das Ergebnis für eine äußerlich so dezente und schmale Box, die zudem nur über passive Filter verfügt, eines gewissen Respekts. Sowa ist kein Zufallsprodukt. Wo liegt nun der Unterschied zu einer „normalen“ 12/2-Box, die auch mit nominellen 90 × 40 angegeben wird? Bei der TS400 werden die vertikalen 40° schon ab 1 kHz erreicht, und bei 350 Hz liegt der Öffnungswinkel auch noch bei engen 80°. Mangels Ausdehnung der Strahlerfläche kann eine klassische 12/2-Box ein solches Abstrahlverhalten nicht erreichen, was hier nicht wertend zu verstehen ist, sondern lediglich als charakteristische Eigenschaften der unterschiedlichen Bauformen.

Maximalpegel

Für die Maximalpegelmessung wurden alle drei Varianten in den Messraum gestellt. Das TS400-Topteil solo, mit einem PSD215 Subwoofer und mit zwei Subwoofern in Form des PSD215 mit passiver Bassextension PSE215. Gemessen wurde für einen Verzerrungsgrenzwert von 10 %, der für PA-Systeme als praxisingerecht gilt. Die TS400 mit einer mittleren Sensitivity von 95 dB und maximal 1 kW Verstärkerleistung spielt beides gut aus und schlängelt sich unterhalb der 125 dB lang. Überraschend sind vor allem die auch bei 100 Hz noch abzulesenden 122 dB. Mit einem Subwoofer lässt sich der Pegel schon bei 55 Hz auf 120 dB heben und mit zweien nochmals auf einen 6 dB höheren Wert. Für die Praxis lässt sich daraus ableiten, dass bei primär akustischen Instrumentarium und Stimmen durchaus die TS400 auch alleine klar kommt. Kommen Bass und Schlagzeug dazu, dann wird der Subwoofer gebraucht. Für DJ-Acts und Ähnliches gibt es dann noch die Option der Bassextension für die tiefen fetten Bässe.

Für die Messung der Intermodulationsverzerrungen wurde die TS400 zusammen mit dem PSD215 ohne Extension betrieben. Ein-

gestellt wurde ein Pegel von 99 dBA in 4 m Entfernung unter Freifeldbedingungen. Der linear bewertete Spitzenpegel betrug dabei 116 dB. Die Anlage lief in der Einstellung ca. 4 dB unterhalb der Clippgrenze. Rechnet man diesen Wert um auf 1 m Entfernung, dann liegt der erreichbare Spitzenpegel bei 132 dB, was sich so auch im Datenblatt wiederfindet.

Setzt man für die Messung aus Abbildung 13 alle Verzerrungsanteile in Relation zum Gesamtsignal, dann liegen die Verzerrungen bei -22 dB entsprechend ca. 8 %. Die Verzerrungen verteilen sich dabei gleichmäßig über den gesamten Frequenzbereich.

Hörtest

Im Hörtest wurde das Dynacord-System komplett aufgebaut mit je einem aktiven und passiven Subwoofer und einer TS400 pro Seite, wie es auch typischerweise in einem kleinen Club, für einen DJ-Act oder für die Top-40-Band genutzt würde. Der Auf- und Abbau geht dabei sehr entspannt und schnell von der Hand. Mit zwei Subwoofern pro Seite wurde deren Pegel um 6 dB zurückgenommen, da sich die ohnehin schon vorhandene Überhöhung im Bass um 5 dB sonst als zu ausgeprägt in den Vordergrund spielt. Für kürzere Distanzen sollte evtl. auch die Überhöhung oberhalb von 8 kHz etwas reduziert werden. Ist man 10 bis 20 m von den Lautsprechern entfernt, dann passt die Höhenanhebung ganz gut. Bei Entfernung von 4–8 m kann über den 6-Band-EQ einfach das 10 kHz-Band nach Bedarf zurückgenommen werden. In unserem Hörtest war es ein Wert von -4 dB, der sich als angenehm erwiesen hat.

Ist die Anlage einmal auf- und eingestellt, dann kommt große Freude auf. Der Sound ist kräftig, dabei aber nicht überzogen fett und tonal sehr schön ausgeglichen. Alle Arten von Musik machen reichlich Spaß mit dem Dynacord-Set, das zudem auch noch mächtig pegelfest ist, sodass sich auch in 10 bis 20 m Entfernung noch „amtliche“ Schalldrücke erzeugen lassen. Sieht man dann in Relation dazu das dezente Erscheinungsbild der Anlage, dann ist das schon eine äußerst angenehme Überraschung.

Preise

TS400 Topteil	2.010 €
PSD215 aktiver Subwoofer	3.200 €
PSE215 passive Sub Extension	1.544 €
VPM1500 Verbindungsstangen	52 €
TA-TS400 Neigungswinkeladapter	354 €
WMK-25 Wandhalter	148 €
CB-TS400 Tragetasche	77 €

Fazit

Dynacord eilt schon seit Jahrzehnten der Ruf voraus, besonders gute und hochwertige kleine bis mittlere PA-Systeme zu bauen. Dass es sich hier nicht nur um einen Mythos vergangener Zeiten handelt, beweist die aktuelle Kombination aus TS400 mit PSD215-Subwoofer und PSE215-Bass-Extension. Die Anlage besticht in allen Lagen von den Messwerten über den Höreindruck bis hin zu Handhabung und Verarbeitung. In der Praxis dürfte sich vor allem das für viele Anwendungen optimal angelegte enge vertikale und breite horizontale Abstrahlverhalten als positives Merkmal herausstellen, vor allem dann, wenn es um akustisch schwierige Räume geht.

Die TS400 ist dabei nicht die „spezialisierte 12/2-Box“, sondern „die bessere 12/2-Box“. Der Preis für ein komplettes Set mit Sub Extension liegt bei ca. 14.000 €, was im Vergleich zu mancher Low-Cost Mini-PA auf den ersten Blick viel erscheint. Dass der Preis voll gerechtfertigt ist, dürfte sich jedoch spätestens im rauen Alltagsbetrieb zeigen, wenn es um eine schnelle und sichere Handhabung und ganz profane Fragen in der Art geht: Wie komme ich in dem halligen Saal klar – und klingt die Anlage dann noch? Die heute viel strapazierte Frage der sicheren Geldanlage lässt sich im Hinblick auf das Dynacord-System gut beantworten, wenn man sich einmal Geräte dieses Herstellers anschaut, die schon viele Jahre auf der Straße sind und in der Regel immer noch klaglos ihren Dienst verrichten.

◆ **Text und Messungen: Anselm Goertz**
Fotos: Dieter Stork und Anselm Goertz (3)