



Technische Grundlagen der PA-Technik, Teil 3

Von Frank Pieper

Was nutzt die prozessorgesteuerte PA, wenn das technische Basis-Know-how fehlt? Also, wie war das noch mit Dezibel, SPL, Volt, Watt, Ampere und Ohm? Diese dreiteilige Serie versucht, die mit Patina bedeckten Erinnerungen wieder aufzufrischen, sie verweist auf technische Hintergründe, mit denen viele Probleme im PA-Alltag besser verstanden, analysiert und schließlich auch gelöst werden können.

Die Tücke liegt im Detail

Im letzten Teil der Serie rund um die „Mysterien der Beschallungstechnik“ stehen die Lautsprecher in Mehrweg-Systemen im Vordergrund.

Dynamische Lautsprecher

Die in PA-Anlagen verwendeten Lautsprecher arbeiten nach dem elektrodynamischen Prinzip: Eine in einem Chassis schwingfähig aufgehängte Membran ist in ihrer Mitte mit einer Induktionsspule gekoppelt, die in den Luftspalt eines starken Dauermagneten (Treiber) eintaucht. Werden der Spule wechsellspannungsförmige Signale zugeführt, entsteht ein entsprechendes elektromagnetisches Feld, welches mit dem konstanten Feld des Dauermagneten in Wechselwirkung tritt. Je nach momentaner Polarität des anliegenden Signals ergibt sich entweder magnetische Anziehung oder Abstoßung, wodurch die bewegliche Membran in Schwingungen gerät.

Die Lautsprecher gelten aufgrund der unregelmäßigen Frequenzgänge als die schwächsten Glieder in der Kette der PA-Signalübertragung. Auch das verwendete Boxengehäuse nimmt erheblichen Anteil am Klang. Bis aus einer Box ein für das Gehör angenehmer Sound tönt, ist seitens der Hersteller immer einiges an Entwicklung und Abstimmung zu investieren. Gutes Material hat

daher seinen Preis. Diese Weisheit gilt ganz besonders für die Boxen und Lautsprecher-Chassis, deren Qualitäten maßgeblich den Sound der kompletten PA bestimmen. Hier zu sparen heißt am falschen Ende sparen, denn das Manko minderwertiger Boxen können wir auch mit aufwendiger Klangfilterung nicht beseitigen! Aus physikalischen Gründen ist ein einzelner Lautsprecher nicht in der Lage, den gesamten Audiofrequenzbereich befriedigend wiederzugeben. Daher werden für den Bass-, den Mitten- und den Hochtonbereich verschiedene Chassis benötigt, die alle unterschiedlichen Anforderungen genügen müssen.

Basslautsprecher

Um tiefe Frequenzen mit genügend Schalldruck abstrahlen, besitzt ein Basslautsprecher eine großflächige Membran, die aus Stabilitätsgründen konusförmig gestaltet ist. Als Werkstoffe dienen imprägniertes Pappmaterial, Kunststoffe oder Kohlefaser-Verbundstoffe, und nur unter Zuführung von verhältnismäßig viel Endstufenleistung kann eine solche Membran den erforderlichen Hub bringen. Die Schwingspule muss entsprechend belastbar dimensioniert sein – hohes Gesamtgewicht von Membran und Spule ist die unvermeidliche Folge. Aufgrund der daraus resultierenden mechanischen Trägheit ist eine solche Konstruktion

nur zur Übertragung tiefer Frequenzen geeignet. Die auftretenden Schwingungen und Kräfte zerran während des Betriebes am Korb eines Basslautsprechers, sodass die Membran durch ein entsprechend stabiles Chassis gehalten werden muss. Auch das teilweise beträchtliche Gewicht des Magneten gilt es hierbei zu berücksichtigen. Aktuelle Entwicklungen setzen diesbezüglich auf leichtere, aber nicht minder effektive Neodymium-Magnete (zählt zu den leichten „Seltene Erden“ und ist in letzter Zeit drastisch im Preis gestiegen, die Red.). Für den Bassbereich (20 bis 120 Hz) sind Lautsprecher mit Membrandurchmessern von 12 Zoll (30 cm), 15 (38 cm) und 18 Zoll (46 cm) üblich.

Der Frequenzgang eines Basslautsprechers reicht in der Regel bis in den Mittenbereich hinauf. Allerdings führen höhere Frequenzen fast unvermeidlich zu Partialschwingungen seitens der Membran – besonders 15 Zoll Chassis sind dafür bekannt. Führt ein Lautsprecher Partialschwingungen aus, so bewegen sich gewisse Membranbereiche – vorzugsweise der äußere Teil nahe der Sicke – nicht mehr gleichphasig zur Membranmitte. Die Auslenkung läuft am Rand quasi etwas „hinterher“, was zu zusätzlichen Bewegungen in Form von Eigenschwingungen führt. Diese sind im zugeführten Signal nicht enthalten, überlagern sich jedoch im Klangbild. Das Ohr interpretiert sie als klangliche Verfälschungen. Daher sorgt eine Frequenzweiche für rechtzeitige Abkopplung des Mittenbereiches und führt dem Basslautsprecher nur jene Frequenzen zu, die er auch optimal verarbeiten kann.

Mitten- und Hochton-Lautsprecher

Der untere Mittenbereich (ca. 120 - 1.500 Hz) wird abhängig vom Boxentyp von Lautsprechern mit 12, 10, 8, 6,5 oder auch 5 Zoll Membrandurchmesser übernommen. Die Konstruktion ist prinzipiell die gleiche wie bei den Tieftönern, aufgrund des höheren Frequenzbereiches fallen Abmessungen und Gewicht jedoch geringer aus.

Die kleinsten Membranabmessungen besitzen schließlich die Hochtöner. Hier sind 2, 1,5, 1 oder gar nur $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser üblich. Hohe Frequenzen erfordern kleine ultraleichte Membranen aus Aluminium oder Kunststoff, die möglichst trägheitslos schwingen müssen, denn nur dann reicht die Übertragung bis in den oberen Audiofrequenzbereich hinauf. Membran und Schwingspule eines Hochtöners bilden eine Einheit. Dieses Bauteil ist auf den Treiber aufgeschraubt, wobei sich die Schwingspule automatisch in dessen Luftspalt zentriert. Um das Gewicht niedrig zu halten, besteht die Spule aus haardünnem Draht, der nur wenig Leistung verträgt. Für optimalen Schalldruck benötigt ein Hochtöner daher besonders starke Magnete. Darüber hinaus werden Membran und Treiber stets an ein Horn angeflanscht, dessen Größe die tiefste zu übertragende Frequenz bestimmt. Im Gegensatz zu den Basslautsprechern strahlen Hochtöner in natura nämlich stark gebündelt ab, was zur Folge hat, dass der beschallte Raum sehr ungleichmäßig ausgeleuchtet würde. Das Horn sorgt für breitere Streuung der hohen Frequenzen in sowohl horizontaler als auch in vertikaler Richtung. Dieses Abstrahlverhalten wird seitens des Herstellers durch zwei Gradzahlen gekennzeichnet. Die Bezeichnung „90 x 40 Grad“ besagt beispielsweise, dass das

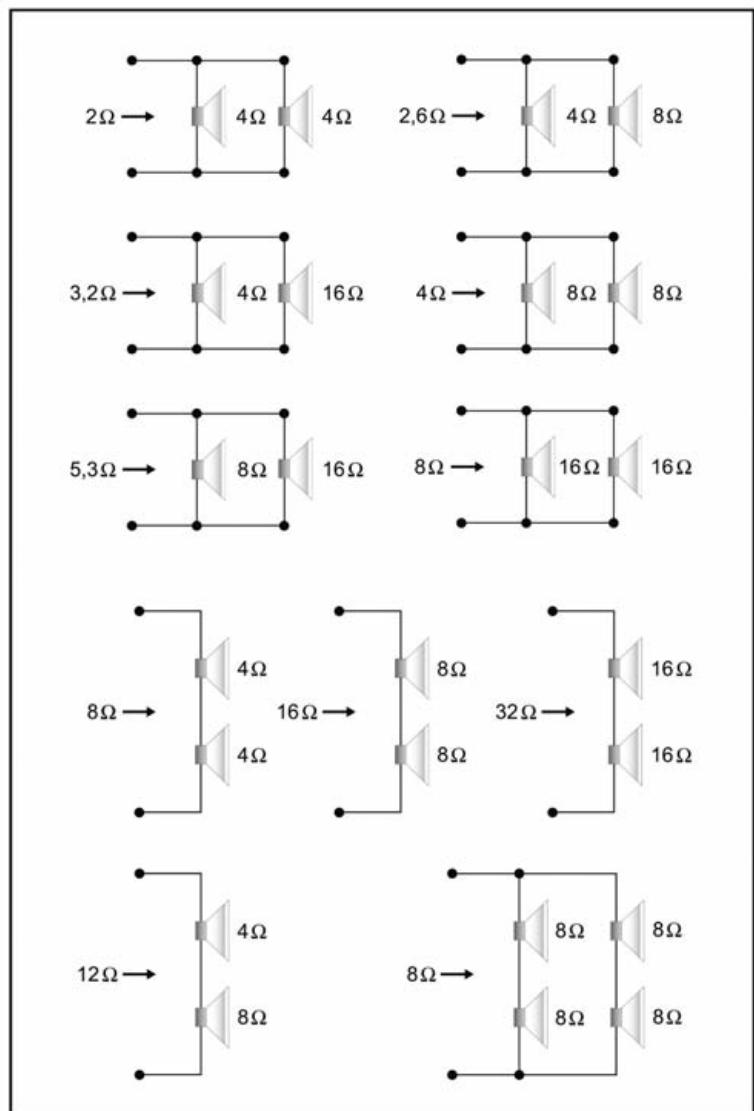


Abb. 1: Lautsprecher in Reihen- und Parallelschaltung inklusive Gesamtimpedanzen

Horn horizontal unter einem Winkel von 90 Grad, vertikal jedoch nur mit 40 Grad abstrahlt.

Lautsprecher-Kombinationen

Die Schwingspule eines Lautsprechers stellt für die speisende Endstufe einen elektrischen Widerstand dar. Dieser beträgt in der Regel 4, 8 oder 16 Ohm. Um höhere Schalldrücke zu erzielen, finden in einer PA- oder Instrumentenbox oft zwei oder mehrere gleiche Lautsprecherchassis Verwendung. Wie werden diese korrekt zusammengeschaltet und welche Widerstände/Impedanzen ergeben sich?

Lautsprecher lassen sich entweder parallel oder „in Reihe“ verschalten, wobei die Reihenschaltung in Gitarrenverstärkern und Boxen für E-Bass häufig, im PA-Sektor hingegen seltener anzutreffen ist. Üblicherweise erbringt ein Endstufenkanal seine Maximalleistung an einer 4 Ohm Last. Um diese voll ausnutzen zu können, muss der Gesamtwiderstand der angeschlossenen Chassis ebenfalls 4

Ohm betragen. Stehen uns – beispielsweise in einem Subbass – zwei 8 Ohm Lautsprecher zur Verfügung, so müssen wir diese gemäß dem Ohmschen Gesetz parallel schalten. Das Gesetz sagt nämlich aus, dass sich der Gesamt Widerstand zweier gleicher, parallel geschalteter Einzelwiderstände auf die Hälfte reduziert. Mit anderen Worten: Zwei Mal 8 Ohm parallel ergeben 4 Ohm Gesamt Widerstand – unsere Endstufe wird optimal ausgelastet. Schalten wir die beiden Lautsprecher versehentlich „in Reihe“, also hintereinander, addieren sich die Einzelwiderstände zu 16 Ohm. Dieser nun vier Mal so hohe Abschlusswiderstand führt dazu, dass das volle Leistungsvermögen der Endstufe nicht genutzt wird. Beschädigungen am Gerät sind bei einer solchen Überanpassung keine zu befürchten.

Ungünstig ist es, wenn beide Lautsprecher Impedanzen von nur je 4 Ohm aufweisen. Reihenschaltung ergibt 8 Ohm, Parallelschaltung sogar nur 2 Ohm, sodass die gewünschte Gesamtimpedanz von 4 Ohm gar nicht erreicht werden kann. Entweder man verwendet die Reihenschaltung und nimmt geringere Endstufenauslastung in Kauf, oder es darf nur ein Lautsprecher angeschlossen werden, welcher dann allerdings für die Maximalleistung des Endstufenkanals ausgelegt sein muss. In Parallelschaltung mit nur 2 Ohm Gesamt Widerstand wird es für die Endstufe gefährlich, denn diese Unteranpassung hat erhöhten Stromfluss und dadurch zu hohe Leistungsentnahme zur Folge. Verfügt das Gerät nicht über eine adäquate Schutzschaltung, droht ein Ausfall infolge von Überlastung.

Leistung und Wirkungsgrade

Die Wirkungsgrade von Lautsprechern bezüglich der in Schall umgesetzten elektrischen Leistung sind sehr schlecht. Ein Hi-Fi-Chassis mit weicher Membranaufhängung bringt es durchschnittlich gerade mal auf 1 Prozent. Die restlichen 99 Prozent Endstufenleistung werden in der Schwingspule schlichtweg „verbraten“, also in nutzlose Wärme umgewandelt. Optimierte PA-Lautsprecher mit superstarken Magneten, engeren Luftspalten und harten Membranen arbeiten zwar etwas effektiver, stehen unterm Strich mit ca. 5 Prozent Wirkungsgrad nur wenig besser dar. Da in Beschallungsanlagen weitaus höhere Leistungen als bei Hi-Fi-Anlagen eingesetzt werden, bedeuten die Leistungsverluste hier ein großes Problem: Die Schwingspule eines PA-Lautsprechers ist erheblicher thermischer Belastung (150 Grad C und mehr) ausgesetzt, welche die Verklebungen mit der Membran gefährdet. Einige Hochleistungslautsprecher bedienen sich daher der Ferrofluidkühlung – im Luftspalt fungiert eine durch das Feld des Dauermagneten in Position gehaltene magnetische Kühlflüssigkeit als Wärmebrücke zwischen Spulendraht und Magnet. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Membranen als Ventilatoren zu benutzen und den Schwingspulen durch spezielle Kanäle kühlende Luft zuzufächern. Der Vorteil von gekühlten Lautsprechern: Der Gleichstromwiderstand der Spule bleibt relativ konstant. Erwärmt sich der Spulendraht, steigt der Ohmsche Widerstand unweigerlich an, was einer Reduktion der umgesetzten Leistung gleichkommt. Mit anderen Worten: Ein Lautsprecher mit stark zunehmender Spulentemperatur wird leiser! Diesen Effekt bezeichnet man auch als „Power Compression“, welche durchaus 5 bis 6 Dezibel Schalldruck kosten kann. Kühlmaßnahmen wirken dem entgegen, der Lautsprecher ist höher belastbar.

MEHR WISSEN?

Gut 15 Jahre ist es her, dass Frank Pieper mit der Erstauflage des PA-Handbuchs das Standardwerk für Beschaller verfasste – ob Einsteiger oder erfahrener PA-Profi. Die vierte, aktualisierte Auflage wurde grundlegend überarbeitet und dem neusten Stand der PA-Technik angepasst. Dabei gilt ein besonderer Fokus dem fortschreitenden Siegeszug der Digitaltechnik sowie den Bereichen Monitoring und Drahtlostechnik. Zusammen mit der Überarbeitung des großen Praxisteils ist das PA-Handbuch jetzt auf 461 Seiten angewachsen. Es hat wesentlich zum Erfolg des Buches beigetragen, dass alle Aspekte der hier vorgestellten Beschallungstechnik aus-

föhrlich, leicht verständlich und praxisbezogen erklärt werden. Große Systeme für Open Airs und Konzerthallen werden dabei ebenso vorgestellt wie die heute so populären, transportablen und leistungsfähigen aktiven Kompaktanlagen und die entsprechende Peripherie. Kurzum: Dieses Upgrade bietet durch die Aktualisierung einen klaren Mehrwert zu vorangegangenen Versionen.

Vielen tools-Lesern ist Frank Pieper seit Jahren als Autor bekannt. Für uns ein Grund mehr, das PA-Handbuch in der vierten Auflage als klaren „Tipp der Redaktion“ zu empfehlen.

GC Carstensen Verlag, 461 Seiten, Audio-CD,
ISBN 3-910098-42-8 bzw. 978-3-910098-42-8, 28,50 Euro

www.gccarstensen.com



Andauernde Überschreitung der Maximalleistung stellt den Extremfall im Leben eines Lautsprechers dar, welches dann meistens auch rasch beendet ist: Der Spulendraht kann die zugeführte Leistung nicht mehr verarbeiten und brennt schlicht und einfach durch, sodass der betroffene Lautsprecher ausgetauscht werden muss. Eine Reparatur ist aufwendig, denn es muss die Membran herausgeschnitten und ein Ersatzteil samt neuer Spule eingesetzt, zentriert und verklebt werden. Dieses sogenannte „Reconing“ durch den Hersteller oder eine Fachwerkstatt ist bei fast allen Markenfabrikaten möglich und auf jeden Fall günstiger als ein Neukauf! „No-Name“-Produkte sind dagegen oft irreparabel und nach einmaliger Überlastung zwangsläufig Elektroschrott. Markenfabrikate mögen anfangs teuer sein – im Servicefall machen sie sich ob der Herstellerleistungen bezahlt. Das gilt auch für Hochtöner, deren Membranen samt Spulen als Ersatzteil erhältlich sind und im Bedarfsfall sogar eigenhändig gewechselt werden können.

Neben der Belastbarkeit eines Lautsprechers ist auch der produzierbare Schalldruck – meist etwas irreführend als „Wirkungsgrad“ bezeichnet – von erheblicher

Bedeutung. Da man als Anwender ja hauptsächlich an Fakten („Wie laut ist meine Box?“) interessiert ist, wird bei im Handel erhältlichen Boxen unter Angabe der Lautsprecherbestückung eine standardisierte Schalldruckmessung durchgeführt (manchmal fehlen dabei allerdings klare Hinweise zum Zustandekommen der Angaben): Der Lautsprecher bekommt dabei eine Leistung von 1 Watt zugeführt, im Abstand von einem Meter befindet sich auf Höhe der Membran ein Messmikrofon, welches in Verbindung mit einem Messgerät den abgestrahlten Schalldruck ermittelt. Die Angabe „98 dB/1 W/1 m“ beispielsweise besagt, dass der betroffene Lautsprecher bei dieser Messung 98 dB Schalldruck erzeugt hat. Dies ist übrigens für einen PA-Tieftöner ein guter Durchschnittswert. Hochtöner schneiden diesbezüglich besser ab: Mit einem Watt zugeführter Leistung produzieren diese in einem Meter Entfernung bis zu 120 dB SPL.

Um diese Zahlen etwas in den Griff zu bekommen, sei nochmals darauf hingewiesen, dass eine Steigerung von +10 dB SPL ungefähr einer Verdopplung der durch den Menschen wahrgenommenen Lautstärke entspricht. Ein sehr guter PA-Lautsprecher für den Bassbereich mit beispielsweise 102 dB Schalldruck (1 W/1 m) ist bei gleicher Leistungszufuhr daher doppelt (!) so laut wie ein weiches Hi-Fi-Chassis, das es dabei gerade mal auf 92 dB SPL bringt. Für die Praxis ist diese Tatsache von erheblicher Bedeutung. Hartnäckig hält sich nämlich der Irrglaube, ein Lautsprecher mit „viel Watt“ sei automatisch auch sehr laut und dadurch besser als ein geringer belastbares Chassis. Die maximale Leistung ist bei der Auswahl ein wichtiges Kriterium, viel wichtiger ist aber der Wirkungsgrad.

Beispiel: Ein billiger, mit „300 Watt“ gekennzeichneter Lautsprecher vermag diese Leistung ja tatsächlich auch umzusetzen, geschieht dies allerdings nur mit 90 dB SPL Wirkungsgrad, haben wir ein schlechtes Geschäft gemacht. Ein solcher Lautsprecher vernichtet eine Menge teuer bezahlter Endstufenleistung, ohne dass Schalldruck dabei herauskommt. Ein hochwertiges und entsprechend teures 300 Watt Chassis mit 100 dB SPL ist bei gleicher Leistungszufuhr doppelt so laut. Umkehrschluss: Um die 90 dB SPL des billigen Lautsprechers zu erreichen, benötigt das teure Chassis nur 30 Watt Verstärkerleistung (doppelte Lautstärke = zehnfache Verstärkerleistung; halbe Lautstärke = 1/10 Verstärkerleistung). Fazit: Verwenden wir Lautsprecher mit exzellentem Wirkungsgrad, können wir mit relativ wenig Leistung hohe Lautstärken erzeugen. Auch wenn derartige Chassis preislich höher angesiedelt sind, zahlt sich dies beispielsweise durch eine kompaktere Anlage aus. Lautsprecher mit schlechtem Wirkungsgrad kosten zwar weniger, zum Erreichen der gleichen Performance sind aber zusätzliche Boxen, Endstufen und natürlich deren Transport erforderlich, was den scheinbaren Preisvorteil in einen klaren Nachteil verwandeln kann. ■

Noch Fragen?
redaktion@tools4music.de



Alles dreht
sich nur um
deine Musik

Neue Idee? Halte sie fest. Spiele sie an. Setze sie ein. Zeige, was du drauf hast – das Multimedia Equipment von König & Meyer begleitet dich. Mit flexiblen Halterungen gibt es fast nichts, was nicht geht. Oder hängt. Oder steht. An der Decke, an der Wand, auf dem Stativ. Hochwertig verarbeitet, zuverlässig und in unverwechselbarem Design. Highend-Zubehör von König & Meyer für iPad-Musiker & Co.

5 Jahre Garantie · Made in Germany

www.k-m.de

K&M KÖNIG & MEYER
Stands For Music