

# PROFESSIONAL system

Magazin für AV-Systemintegration

1 | 2022  
Februar



## HK Audio SI Series

Sonderdruck aus Professional System 1-2022



Die P10i (vorne) und P10j (hinten) ohne Frontgitter

# HK Audio SI Series

System-Integrator-Modelle von HK Audio mit Zeilenlautsprechern und Subwoofern in wetterfester IP66-Ausführung, mit einer Zertifizierung nach EN54-24 und optionalen 100-Volt-Übertragern

Text und Messungen: Anselm Goertz | Fotos: Anselm Goertz

**D**ie neuen Lautsprechermodelle der SI Series von HK Audio aus St. Wendel im Saarland wurden gezielt für den Installationsmarkt entwickelt und nicht, wie sonst oft üblich, aus den Modellen einer Rental-Serie abgeleitet. Im Vorfeld der Entwicklung wurden dazu Planer und Errichter beratend einbezogen. Die häufigsten im alltäglichen Planungsgeschäft gestellten Anforderungen sind:

- ein an schwierige raumakustische Verhältnisse angepasstes Abstrahlverhalten, sodass Publikumsbereiche gezielt beschallt werden können, ohne einen möglichen Nachhall des umgebenden Raumes zu sehr anzuregen
- ein hinreichender Maximalpegel, um auch bei hohem Störpegel noch einen ausreichend Störabstand erreichen zu können
- die EN54-24-Zertifizierung für den Einsatz in Sprachalarmanlagen
- Wetterfestigkeit für den Außeneinsatz
- Hinzu kommen Aspekte zur Montage und der farblichen Anpassung an das Umfeld sowie einige Spezialanforderungen, wie die Ballwurfsicherheit für die Nutzung in Sporthallen.

Die beiden ersten Positionen zielen auf eine hinreichende Sprachverständlichkeit ab, die primär durch die raumakustischen Verhältnisse und einen möglichen Störpegel bestimmt wird. Eine lange Nachhallzeit und hoher Störpegel treten dabei oft in Kombination auf, was die Lage weiter erschwert. Als Beispiele, die fast jeder aus der eigenen Erfahrung kennt, wären dazu Sporthallen (Handball, Eishockey, etc.), Bahnhofshallen oder auch Messehallen zu nennen. Ähnlich schwierig verhält es sich mit sakralen Bauten, Museen oder großen Foyers moderner

Gebäude, wo zwar der Störpegel meist kein relevantes Thema ist, aber durch die raumakustischen Verhältnisse und weit verteilte räumliche Bereiche ebenfalls schwierige Bedingungen vorliegen.

### HK Audio P10 – warum als Zeilen?

Jeder kennt den Effekt halliger Räume, in denen man einen Gesprächspartner über eine Distanz von 10 m zwar noch hinreichend laut hört, aber trotzdem nichts versteht, weil der Nachhall alle wichtigen Merkmale für eine gute Sprachverständlichkeit überdeckt. Ideal für die Sprachverständlichkeit wäre es, nur den Direktschall, der auf kürzestem Wege von der Quelle zum Empfänger kommt, zu hören. Solange man sich nicht im Freien befindet, kommen jedoch immer auch eine mehr oder weniger ausgeprägte Menge Reflexionen und der durch den Nachhall eines Raumes entstehende Diffusschall hinzu. Während sich Reflexionen, wenn sie innerhalb der ersten 50 ms nach dem Direktschall beim Zuhörer eintreffen, auch positiv auf die Sprachverständlichkeit auswirken können, ist der Diffusschall unter dem Aspekt der Sprachverständlichkeit immer kontraproduktiv. Für andere Anwendungen ist ein mehr weniger ausgeprägtes diffuses Schallfeld aber auch gewünscht. So wird in einer Sporthalle die Stimmung am Lärm der Fans gemessen, der Konzertsaal braucht den Diffusschall für ein Gefühl des umhüllenden Klangs, und die Orgel und der Chor in einer Kirche würden ohne den langen Nachhall stumpf und langweilig klingen. Schon an diesen einfachen Beispielen erkennt man, dass hier intelligente Lösungen und auch Kompromisse erforderlich sind, um allen Ansprüchen gerecht zu werden. Nehmen wir als Beispiel eine große Halle mit langer Nachhallzeit und flexibler Nutzung. Für Durchsagen und Sprachalarmierung soll bzw. muss eine hinreichende Sprachverständlichkeit erreicht werden. Raumakustische Maßnahmen zur Reduzierung des Nachhalls sind nicht möglich.

In so einem Fall gilt es mithilfe passender Lautsprecher trotzdem eine hinreichende Sprachverständlichkeit zu erreichen. Der Begriff „passend“ bezieht sich dabei primär auf das Abstrahlverhalten oder Directivity der Lautsprecher. Wichtig ist dabei, nochmal zu betonen, dass es beim Thema Directivity nicht um gut oder schlecht, sondern um passend oder unpassend für eine bestimmte Anwendung geht. In halligen Räumen bedeutet das, der Lautsprecher sollte den Schall möglichst gut gerichtet dorthin strahlen, wo sich die Zuhörer befinden, und möglichst wenig in die verbleibenden Bereiche, so dass möglichst viel Direktschall zu den Zuhörern gelangt und gleichzeitig der Nachhall so wenig wie möglich angeregt wird. Befinden sich die Zuhörer in einer oder mehre-

ren Ebenen, dann gelingt genau das mit Zeilenlautsprechern relativ gut, so wie man es auch aus Installationen in Kirchen kennt. Die Zeile idealisiert als Linienquelle strahlt horizontal breit und vertikal sehr eng ab, so dass eine große Publikumsfläche in einer Ebene gut abgedeckt werden kann.

Wer in dem Zusammenhang direkt an die meist sehr dünn und schwach klingenden alten Zeilenlautsprecher denkt, liegt heute zum Glück falsch. Moderne Breitbandtreiber bieten im Vergleich zu älteren Modellen einen deutlich erweiterten Frequenzbereich und eine höhere Belastbarkeit. Eine Steigerung findet das Konzept des Zeilenlautsprechers in den DSP-gesteuerten Zeilen, deren Richtverhalten sich auf rein elektronischem Wege durch Filter noch gezielter an die Randbedingungen anpassen lässt. Dem steht jedoch ein erheblicher technischer Aufwand in Hard- und vor allem auch in Software gegenüber, was DSP-gesteuerte Zeilen für viele Anwendungen unerschwinglich macht. Hinzu kommt der Aspekt der EN54-Zertifizierung, die zurzeit für aktive Lautsprecher noch nicht möglich ist, so dass für den Einsatz in Sprachalarmanlagen eine Einzelabnahme erforderlich wird. Mittelfristig besteht jedoch die Perspektive, dass sich, abgeleitet aus der in Deutschland schon existierenden Vornorm DIN VDE V 0833-4-1, auch eine Möglichkeit der Zertifizierung von aktiven Lautsprechern ergibt.

Möchte man ohne aktive Technik trotzdem das Abstrahlverhalten einer Zeile noch ein wenig optimieren bzw. anpassen, besteht die Möglichkeit, dieses mit passiven Filtern in der Zeile oder auch mechanisch durch eine Krümmung der Zeile zu erreichen. Man kennt die Technik in einem größeren Maßstab von Line-Arrays, die für große Reichweiten oben in der Linie mehr oder weniger gerade hängen, und wo sich die Linien dann nach unten hin krümmt, um auch die vorderen Reihen des Publikums zu erreichen. Durch die Krümmung vergrößert sich der beschallte Raumwinkel, und die Intensität wird reduziert, was durch die kürzere Entfernung zum Publikum wieder kompensiert wird, so dass sich über alles betrachtet eine weitgehend gleichmäßige Pegelverteilung ergibt. →



Die S210 P ohne Bassreflexöffnung, aber mit zwei Passivmembranen auf der Rückseite

### Mehrere Zeilen-Versionen von HK Audio

Mit viel Erfahrung bei der Entwicklung von Line-Arrays hat man bei HK Audio genau diesen Gedanken auch für die Zeilenlautsprecher aufgenommen und in der SI-Series neben der geraden P10i auch eine gekrümmte Version als P10j entwickelt. Beide Modelle der P10 gibt es zudem in einer Low-Z-Version mit 16  $\Omega$  Nennimpedanz und mit Übertrager für 100-Volt-Systeme mit Abgriffen für 150, 75 und 37,5 W. Wir beschränken uns im Folgenden jedoch auf die Low-Z-Version.

Alle P10-Modelle sind mit je zehn 3"-Breitbandchassis bestückt, die auf ein geschlossenes Gehäuse arbeiten. Angetrieben werden die Breitbänder von einer 0,8"-Schwingspule zusammen mit einem kräftigen Ferrit-Magneten, der beinahe die Größe des restlichen Treibers aufweist. Die Gehäuseabmessungen betragen 820 mm in der Höhe, 120 mm in der Breite und 165 mm in der Tiefe, bei einem Gewicht von 10,4 kg. Beim j-Modell reduziert sich die Tiefe des Gehäuses am unteren Ende durch die Krümmung der Schallwand auf 119 mm. Das Gehäuse ist solide aus Multiplex gefertigt und mit einem wasserfesten Zweikomponentenlack überzogen. Die Frontseite wird durch ein Stahlgitter geschützt, dessen Qualität mit einem Ballwurfsicherheitszertifikat nach DIN 18032-3 nachgewiesen ist. Ebenfalls mit Prüfberichten belegbar sind die Schutzklasse IP66 und das Zertifikat EN54-24 Typ B für den Außenbereich. Die Lautsprecher können somit dauerhaft in nicht überdachten und ungeschützten Außenbereichen aufgestellt werden.

Trotz dieser robusten Ausführung bleiben die schlanken Gehäuse optisch gefällig, da die gesamte Front mit einem noch weit über die Kanten gezogenen imprägnierten Stoff überzogen ist, so dass weder das Frontgitter noch die Treiber zu erkennen sind. Reichlich Zubehör gibt es zur Montage der Lautsprecher. Im Einzelnen sind das ein

U-Bügel, ein Schwenk- und Neigehalter für die Wandmontage oder alternativ für die Deckenmontage und ein Masthalter. Sollen zwei P10 als eine Einheit betrieben werden, dann werden diese mit seitlichen Verbinderplatten verschraubt.

### Messwerte P10

Eine erste schnelle Messung der Impedanz (ABB. 1) bestätigt für die beiden P10-Modelle in der Low-Z-Version den 16- $\Omega$ -Nennwert mit einem unkritischen Minimum von 15,6  $\Omega$ . Die Resonanzfrequenz der Treiber im Gehäuse liegt bei 198 Hz. Frequenzgang und Sensitivity aus ABB. 2 wurden zunächst mit den P10 ohne Controller direkt am Messverstärker gemessen. Bei der Sensitivity ist zu beachten, dass die Kurven auf 2,83 V/1 m bezogen sind. Bei einem 16- $\Omega$ -System liegt der Wert 1 W/1 m dann 3 dB höher, so dass man im Mittel zwischen 200 Hz und 10 kHz auf einen Wert 1 W/1 m von 97(i) bzw. 96(j) dB kommt. Unterhalb der Resonanzfrequenz von 198 Hz fällt der Pegel langsam mit 12 dB/Oct. ab, was typisch für ein geschlossenes Gehäuse ist. Mit einer Bassreflexabstimmung würde man zwar eine tiefere Eckfrequenz erreichen, unterhalb derer die Kurve dann jedoch mit 24 dB/Oct. abfallen würde.

Welches Gehäusekonzept besser ist, hängt von der Anwendung ab, wobei für die P10 neben den akustischen Aspekten natürlich auch noch der Schutz vor dem Eindringen von Wasser und Staub ein Argument für das geschlossene Gehäuse ist.

Die Rohmessungen der P10 zeigen so zunächst einmal, dass mit einer leichten Entzerrung schon eine qualitativ hochwertige Sprachwiedergabe möglich ist. Ein Subwoofer würde erst dann erforderlich, wenn man für Musik auch den Frequenzbereich unterhalb von 150 Hz noch mit adäquatem Pegel abdecken möchte.

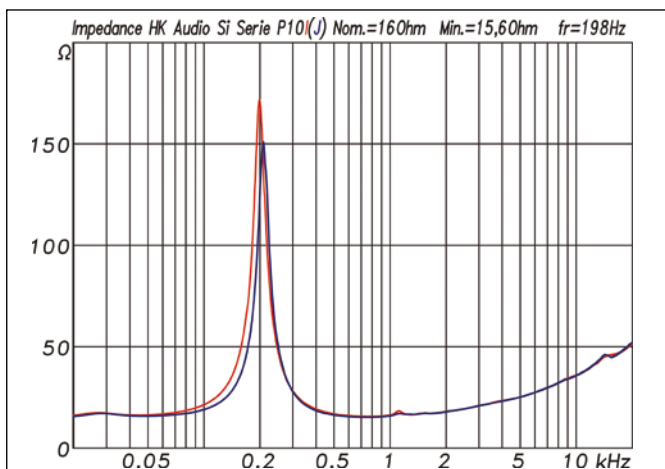


Abb. 1: Impedanzkurven der beiden P10-Modelle. In der niederohmigen Version ist die Nennimpedanz 16  $\Omega$ . Das Minimum liegt bei unkritisches 15,6  $\Omega$ . Die Resonanzfrequenz der Treiber im Gehäuse liegt bei 198 Hz.

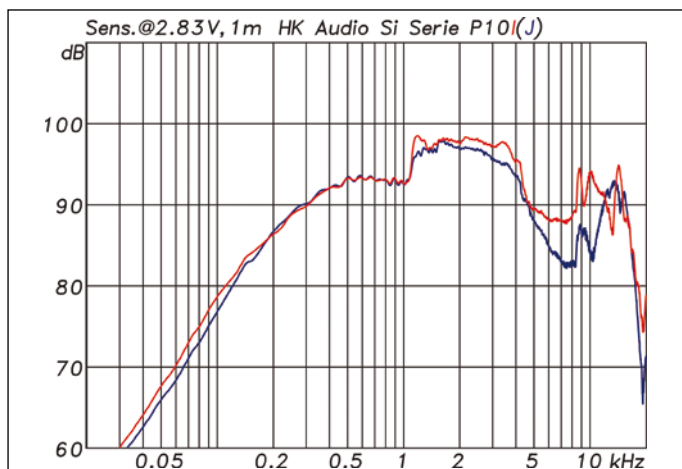


Abb. 2: Frequenzgang und Sensitivity der beiden P10-Modelle. In der j-Version fallen die Höhen etwas gegenüber dem i-Modell ab.

### Directivity

Fast noch wichtiger als der Frequenzgang ist die Directivity, da sich diese nicht durch den vorgeschalteten Controller ändern lässt. Dazu wurden je eine P10i und eine P10j in der horizontalen und vertikalen Ebene gemessen. Die Abbildungen [ABB. 3](#) bis [ABB. 6](#) zeigen die so ermittelten Isobaren. Die horizontalen Kurven aus [ABB. 3](#) und [ABB. 4](#) lassen auch direkt die Ursache für die Sprungstelle im Frequenzgang bei 1 kHz erkennen. Hier engt sich das Abstrahlverhalten ebenfalls sprunghaft ein, wodurch der Pegel auf der Mittelachse ansteigt.

Der Effekt wird auch als „Baffle Step“ bezeichnet und entsteht dort, wo die Abstrahlung durch die Fläche der Schallwand bedingt vom Vollraum auf den Halbraum übergeht. Vergleicht man die horizontalen Isobaren der P10i und P10j, dann fällt auf, dass die gekrümmte P10j insgesamt etwas breiter und gleichmäßiger abstrahlt. Genau so findet es sich auch im Datenblatt, das für die P10i 100° und für die P10j 120° ausweist. Oberhalb von 8 kHz schnüren sich die horizontalen Isobaren dann für beide Modelle auf ca. 40° ein.

Interessanter wird es in der vertikalen Ebene mit [ABB. 5](#) und [ABB. 6](#), wo sich für P10i das typische Verhalten einer geraden Zeile zeigt, das sich zu hohen Frequenzen hin kontinuierlich einschnürt. Bedingt durch den Abstand der Einzelquellen entstehen ab 5 kHz schwache Nebenmaxima. In der j-Variante fällt der vertikale Öffnungswinkel etwas breiter und vor allem konstanter aus. Nach unten öffnet sich das System bis ca. -10°. Insgesamt hat die Hauptabstrahlachse eine Breite von ca. 15°, so dass mit der P10j

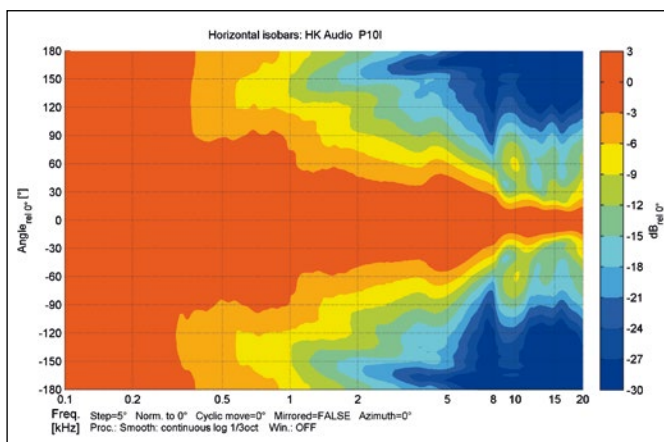


Die beiden S210-Varianten von hinten gesehen; oben die S210 P mit zwei Passivmembranen und unten die S210 V

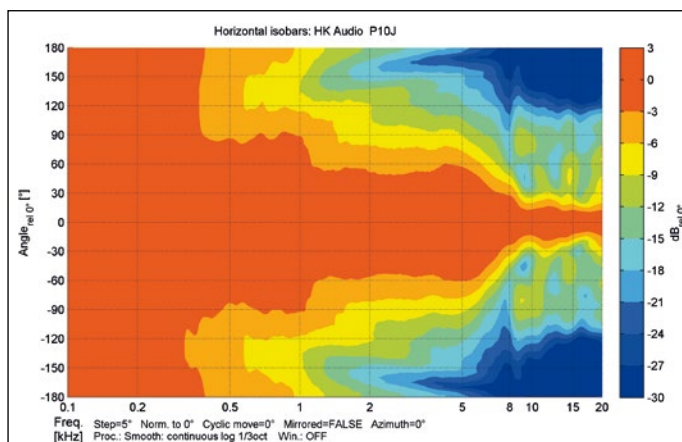
auch die vorderen Publikumsbereiche noch gut erreicht werden können, wenn diese mit ihrer Unterkante knapp über Kopfhöhe montiert ist.

### Simulationsdaten

Für die Planung von Beschallungsanlagen mit den P10 gibt es bei HK Audio eine EASE-GLL, die in EASE und auch in EASE Focus genutzt werden kann. Bedingt durch die Länge der Zeile ist das Nahfeld im Gegensatz zu Point-Source-Lautsprecher viel weiter ausgedehnt, sodass sich bei mittleren und hohen Frequenzen weite Teile des Publikums im Nahfeld befinden. Dieses kann von der GLL nur dann korrekt berechnet werden, wenn, wie in der P10 GLL, jede Quelle (d. h. jeder Treiber) als separate Quelle mit eigenem Balloon an seiner Position abgebildet wird (siehe Abb. 7). Würde man vereinfacht eine komplette P10 mit einem Balloon erfassen, dann wäre die Berechnungen zwar für das Fernfeld gültig, aber nicht für das Nahfeld. →



**Abb. 3:** Horizontale Isobaren des i-Modells. Oberhalb von 8 kHz schnürt sich der Öffnungswinkel ein.



**Abb. 4:** Horizontale Isobaren des j-Modells

Beide Varianten der P10 in der Seitenansicht



### Subwoofer S210

Zu den Zeilen P10 bietet HK Audio in der SI Series zwei Subwoofer an, den S210 V und den S210 P – das V steht hier für „vented“, das P für „passive radiator“. Äußerlich sind die beiden Subs mit identischen Abmessungen von 70 × 29,7 × 55 cm kaum zu unterscheiden, lediglich auf der Rückseite fällt der S210 P durch zwei mit Stoff bespannte Flächen auf, wo der S210 V nur eine feste Holzplatte hat.

Entfernt man die vorderen und hinteren Abdeckungen, dann wird der Unterschied klar: Der S210 V ist ein klassische Bassreflexbox mit zwei 10"-Treibern und einem großen Bassreflexport auf der Vorderseite, wogegen die S210 P keinen Port, aber zwei Passivmembranen auf der Rückseite hat. Prinzipiell wirkt dabei eine Passivmembran ähnlich wie ein Bassreflexport. Eine Masse, die entweder aus der Passivmembran besteht oder aus der Luftmasse im Bassreflexport, wird von der Rückseite der Membranen der Treiber über das Luftvolumen im Gehäuse, das hier als Feder agiert, angetrieben. Damit entsteht ein Feder-Masse-System, das bei seiner Resonanzfrequenz stark schwingt und eine zum Antrieb, also zur Membranrückseite, gegenphasige Schwingung ausführt. Zur Membranvorderseite ist die Schwingung des Resonators dann gleichphasig, so dass der Resonator die Schallabstrahlung der Membran konstruktiv ergänzt, was zur einer verstärkten Basswiedergabe führt.

Das funktioniert jedoch nur in einem schmalen Frequenzbereich – um die Resonanzfrequenz. Für höhere Frequenzen wird der Resonator nicht mehr angeregt, und für tiefere geht die Schwingung des Resonators in einem zur Membranrückseite gleichphasigen Verlauf über, wo sich die Schallabstrahlung dann destruktiv zur Membran auswirkt. Dadurch bedingt fällt der Pegel bei einer Bassreflexbox unterhalb der Resonanzfrequenz auch mit 24 dB/Oct. zu tiefen Frequenzen hin ab im Gegensatz zu den 12 dB/Oct. bei einem geschlossenen Gehäuse. Da der Treiber im Bassreflexgehäuse unterhalb der Resonanzfrequenz zusehends ungedämpft läuft und es bei hohen Pegeln zu gefährlichen Auslenkungen kommen kann, sollte eine Bassreflexbox zum Schutz immer mit einem vorgeschaltete elektrischen Hochpassfilter 2. oder 4. Ordnung betrieben werden.

Sehen wir uns die Impedanzkurven der beiden Subwoofer aus [ABB. 8](#) an, dann sind diese nahezu identisch.

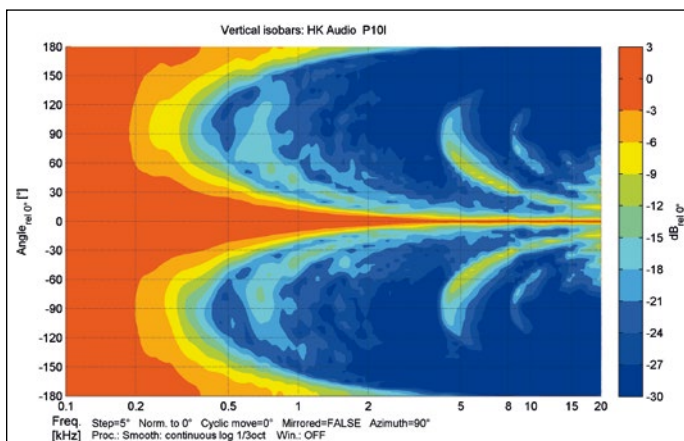


Abb. 5: Vertikale Isobaren des i-Modells mit dem für eine gerade Zeile typischen sehr engen Abstrahlverhalten, das sich zu hohen Frequenzen hin kontinuierlich einschnürt. Bedingt durch den Abstand der Einzelquellen entstehen ab 5 kHz schwache Nebenmaxima.

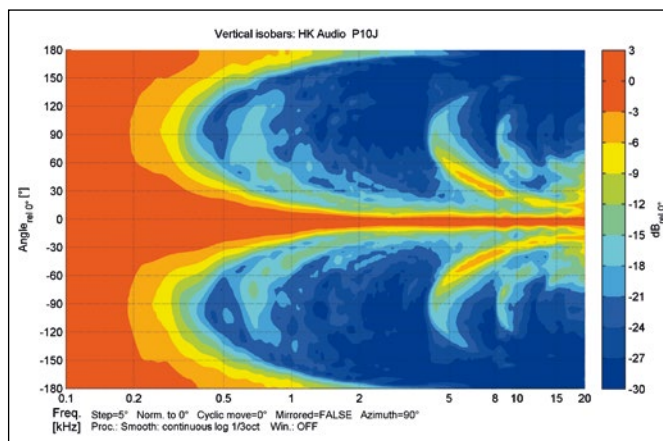
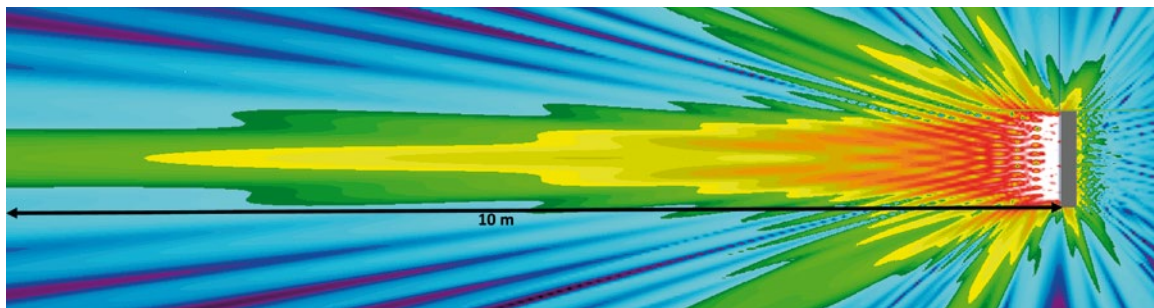


Abb. 6: In der j-Variante fällt der vertikale Öffnungswinkel etwas breiter und konstanter aus. Nach unten öffnet sich das System bis ca.  $-10^\circ$ .



**Abb. 7:** Darstellung des Schallfeldes einer P10i in EASE. Für eine korrekte Abbildung der Nahfeldes muss jeder einzelne Treiber erkennbar sein, so wie hier im Schnittbild dargestellt. Die Berechnung erfolgte für eine P10i bei einer Frequenz von 10 kHz.

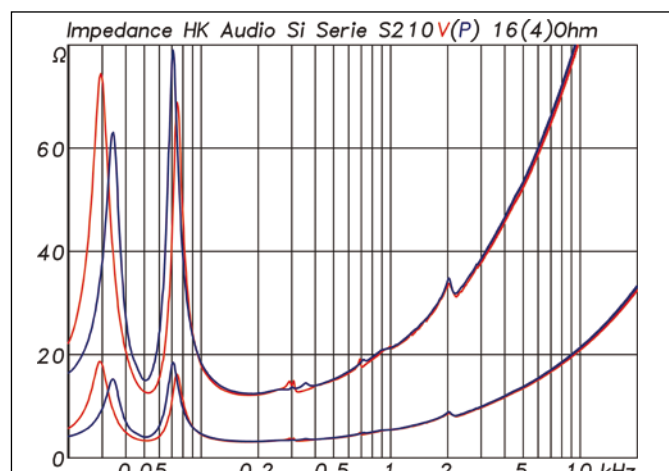
Beide Subs sind vom Prinzip her als Bassreflexsystem ausgelegt und auf eine Resonanzfrequenz von ca. 50 Hz abgestimmt. Der einzige Unterschied liegt in der Ausführung der schwingenden Masse des Resonator als Luftmasse im Port oder als Passivmembran. Wie die weiteren Kurven in **ABB. 8** zeigen, können die Subs im 16- $\Omega$ - oder im 4- $\Omega$ -Modus betrieben werden, wobei die beiden Treiber über den Schiebeschalter auf der Rückseite entweder in Reihen- oder Parallelschaltung betrieben werden, womit eine Anpassung an verschiedene Endstufen erleichtert wird.

Deutlich ausgeprägter sind die Unterschiede bei den Frequenzgängen der beiden Subwoofer in **ABB. 9**. Der S210 P mit den Passivmembranen ist im relevanten Frequenzbereich 3–6 dB leiser im Vergleich zum S210 V, der wiederum oberhalb von 300 Hz einen deutlich unruhigeren Verlauf aufweist. Die Ursache liegt in Gehäuseresonanzen, die durch den offenen Port stärker nach außen dringen können. Letztendlich spielt das jedoch keine Rolle, weil die Subs nur bis maximal 200 Hz betrieben werden. Der S210 V hat die Schutzklasse IP44 und der S210 P sogar

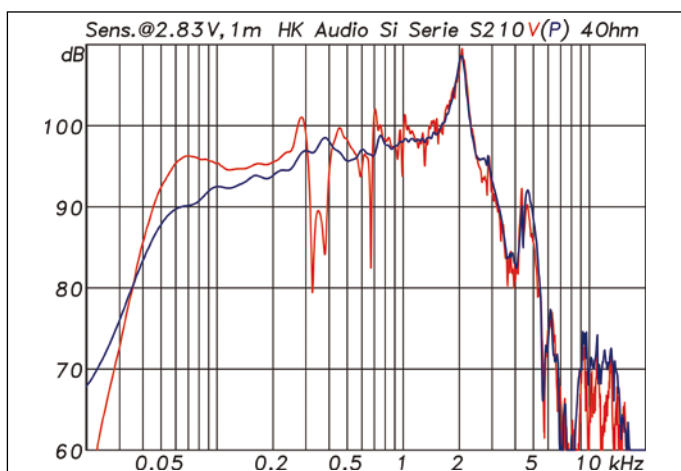
IP66. Der Unterschied entsteht durch die offenen Ports des S210 V, die man durch die Passivmembranen vermeidet.

### Elektronik und Setups

An Controllern und Endstufen bietet man bei HK Audio dem Anwender mehrere Varianten an: Fertige Setups für die SI Series gibt es für die LAB Gruppen-Endstufen IPD und PLM mit Lake-Controller, für Powersoft-Endstufen mit Armonia+ DSP, für das QSC-Q-SYS-System und in Form von Tabellen mit Parametern für Filter und Limiter, wenn man ein anderes als die genannten drei Produkte verwenden möchte. Damit bietet man den Kunden alle nur erdenklichen Möglichkeiten. Speziell wenn es um den Einsatz in Sprachalarmanlagen geht, sind vor allem die freien Parameter für Filter und Limiter wichtig, da in diesem Zusammenhang eine EN54-16 zertifizierte Zentralentechnik zum Einsatz kommen muss, für die es keine fertigen Setups gibt. Zum Test mitgeliefert wurde eine Endstufe LAB Gruppen PLM 12K44 mit integriertem Lake-Controller und somit das für die SI Series verfügbare Spitzenprodukt. →



**Abb. 8:** Impedanzkurven der beiden Subwoofer S210 V und S210 P jeweils in der Einstellung für 4  $\Omega$  und 16  $\Omega$  Nennimpedanz. Die Tuningfrequenz liegt bei beiden Modellen bei ca. 50 Hz.



**Abb. 9:** Frequenzgang und Sensitivity der beiden Subwoofer S210 V und S210 P in der Einstellung für 4  $\Omega$  Nennimpedanz. Das V-Modell mit Bassreflexport ist bei tiefen Frequenzen deutlich lauter bei einem insgesamt etwas unruhigeren Frequenzgang.

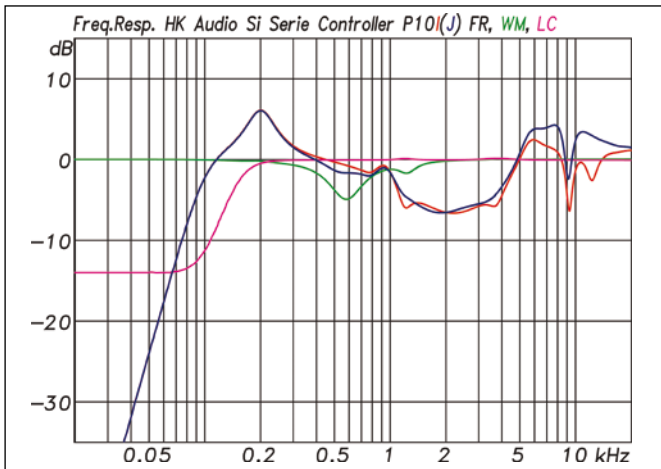


Abb. 10: Frequenzgänge des zugehörigen Lake-Controllers für die P10 in beiden Versionen und zusätzliche Filter für Wall Mount (WM) sowie Low-Cut (LC)

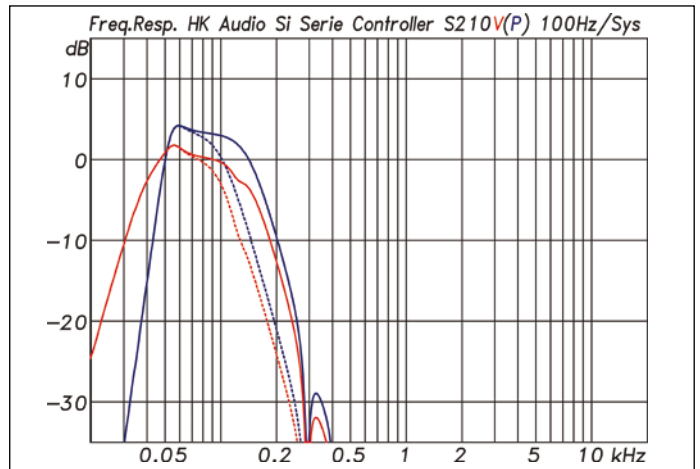


Abb. 11: Frequenzgänge des zugehörigen Lake-Controllers für die Subwoofer S210 V und S210 P

Die PLM-Endstufe bietet neben einer Ausgangsleistung von knappen 4.000 W an 4  $\Omega$  noch eine ganze Reihe weiterer Features: Dazu gehören das Rational Power Management (RPM), wo die verfügbare Leistung des Netzteils nach Bedarf auf die vier Endstufen aufgeteilt werden kann, sodass aktive Mehrwege-Systeme optimal ausgelastet werden können, und natürlich der integrierte Lake-Controller, der mit seinen speziellen MESA-EQ-Filtern sowie klassischen IIR- und auch FIR-Filtern alles bietet, was man sich beim Thema Filter aktuell wünschen kann. Die Endstufen selbst arbeiten mit einer sogenannten Class-TD-Schaltung.

Hierbei handelt es sich um eine Class-AB-Endstufe, die nicht, wie sonst bei Hochleistungsverstärkern üblich, mit einer mehrfach gestuften Versorgungsspannung (Class-H-Schaltung) arbeitet, sondern mit einer passend zum aktuellen Bedarf geregelten Spannung versorgt wird. Diese geregelte Spannung entstammt wiederum einer Class-D-

Endstufe. Herkömmlich Class-AB-Endstufen liefern die beste Audioqualität, erzeugen jedoch je nach Auslastung ganz erhebliche Verluste, was sich durch die Class-H-Technik mit gestuften Versorgungsspannung in Grenzen optimieren lässt.

Eine Class-D-Schaltung mit der sogenannten Pulsweitenmodulation stellt unter dem Aspekt einer möglichst geringen Verlustleistung das Optimum da, hat jedoch aus Sicht der Audioqualität diverse Nachteile aufzuweisen. Die von den Lab Gruppen patentierte Class-TD-Schaltung weiß die Vorzüge der Class-AB- und Class-D-Schaltung zu kombinieren und gleichzeitig die Nachteile zu vermeiden. Eine Class-D-Endstufe arbeitet hier als eine Art geregeltes Netzteil für die eigentliche, in Class-AB-Technik aufgebaute Endstufe, die dann das Audiosignal bearbeitet. Da die vorgeschaltete Class-D-Endstufe der nachfolgenden Class-AB eine optimal passende Versorgungsspannung knapp über dem mindestens erforderlichen Wert zur Ver-

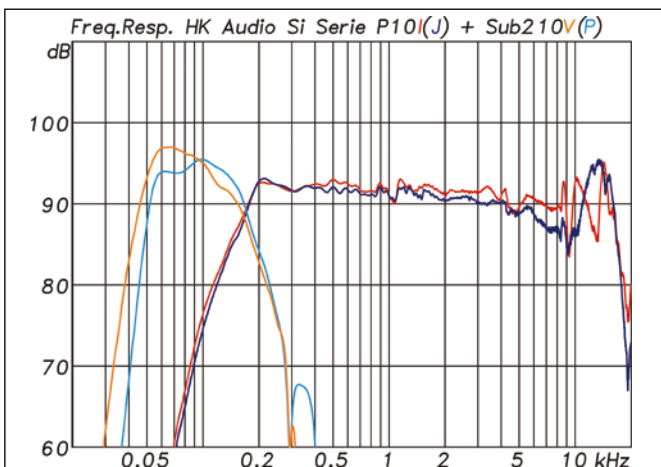


Abb. 12: Subwoofer und Topteile mit Controller gemessen

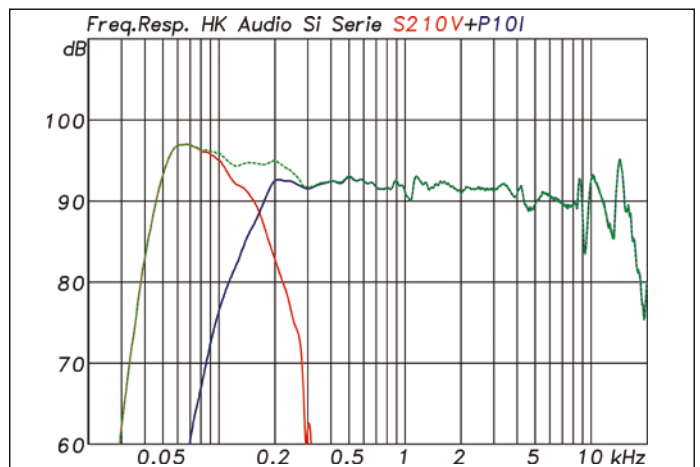


Abb. 13: Zusammenspiel von Subwoofer und Topteil am Beispiel der P10i und des S210 V



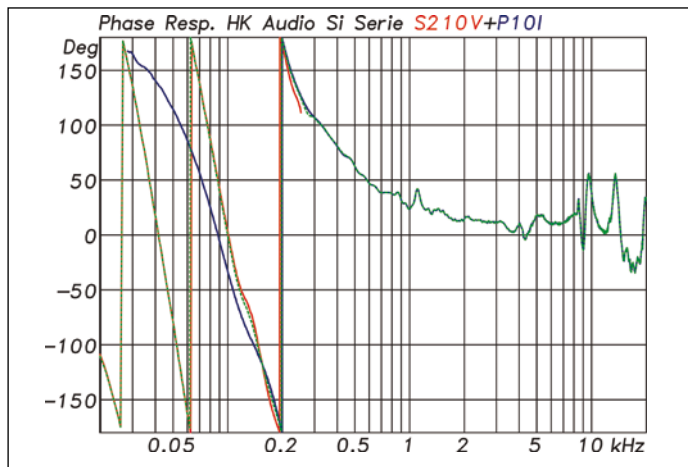


Abb. 14: Phasengänge der Kombination aus P10i und S210 V. Im Übergangsbereich passt die Phasenlage exakt.

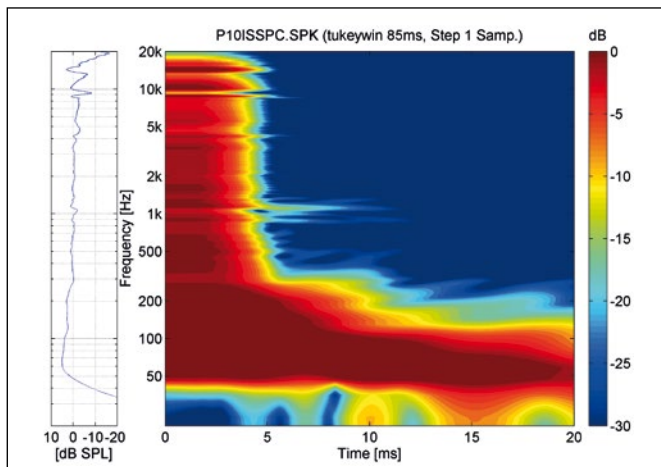


Abb. 15: Spektrogramm der Kombination aus P10i und S210 V. Bei 1 kHz tritt eine kleine Resonanz hervor. Das längere Nachschwingen zu den tiefen Frequenzen entsteht durch die Phasendrehung der X-Over- und Hochpassfilter.

fügung stellt, arbeitet diese immer in einem günstigen Arbeitspunkt mit geringer Verlustleistung. Das Audiosignal bleibt bei dieser Schaltungstechnik von der Class-D-Stufe unberührt.

Als Eingänge stehen an der PLM 12K44 analoge symmetrische Anschlüsse mit dem Lake-typischem Iso-Float-Ground, zwei digitale Eingänge im AES3-Format und ein redundanter Anschluss für ein Dante-Audionetzwerk zur Verfügung. Für die Eingänge kann in der Lake-Software eine Prioritätenliste erstellt werden, so dass z. B. die analogen Signale als automatisches fallback für die digitalen Signale genutzt werden können, falls es einmal zu einer Störung kommen sollte. Die Netzwerkverbindung zwischen den Endstufen kann als Stern oder auch per Daisy-Chain erfolgen. Soll das Dante-Netzwerk redundant ausgeführt werden, dann bedarf es einer doppelten Stern-Vernetzung.

Die Setups für die SI Series befinden sich auf dem Lake-Controller in sogenannten Frames, in denen sich komplette System-Setups festlegen lassen. Für die P10 gibt es Filter jeweils für die i- und j-Variante für Fullrange (FR), Wall Mount (WM) und Low-Cut (LC). Die damit gemessenen Frequenzgänge finden sich in [ABB. 10](#). Zwischen den Setups für die i- und j-Variante gibt es nur geringe Unterschiede oberhalb von 5 kHz, wo die gekrümmte P10j ein wenig mehr Pegel in den Höhen benötigt. Die Wall-Mount-Einstellung senkt bei 600 Hz etwas den Pegel ab, wo durch die Nähe einer Grenzfläche eine Überhöhung entsteht.

Ebenfalls zwei angepasste Setups gibt es für die beiden Varianten des Subwoofers S210. [ABB. 11](#) zeigt die zugehörigen Frequenzgänge für die V- und P-Variante jeweils in den Einstellung „100 Hz“ und „Sys“ (System). Das 100-Hz-Setup ist als universelle Tiefpassfilterung für die

Kombination mit beliebigen anderen Topteilen gedacht und das Sys-Setup mit einer Eckfrequenz des Tiefpassfilters von 140 Hz für die Kombination mit den Topteilen P10. Unterschiede zwischen den Setups für die S210 V und S210 P gibt es primär unterhalb von 50 Hz, wo die P-Variante mit den Passivmembranen eine steilere Hochpassfilterung benötigt. →



Anschlussfelder der P10 in der Low-Z-Version mit Phoenix-Anschlüssen und Link-Buchse. Nach dem Anschluss der Kabel werden noch strahlwasserfeste Abdeckplatten mit zwei Kabeldurchführungen aufgesetzt.



Alle Varianten der P10 und S210 (Subwoofer hier ohne Frontgitter)

Die grüne Summenkurve deutet bereits an, dass im Übergangsbereich auch die Phasenverläufe eine gute Übereinstimmung haben werden, was dann auch direkt durch ABB. 14 mit sich exakt deckenden Phasengängen von Topteil und Subwoofer im Übergangsbereich bestätigt wird. In der Praxis ist jedoch zu bedenken, dass sich je nach Aufstellung und Position von Topteil und Subwoofer zueinander die Phasenlagen merklich verschieben können. Über Delay-Einstellungen und auch

### Zusammenspiel

Wie Subwoofer und Topteile mit der Endstufe PLM 12K44 zusammenspielen, zeigt ABB. 12 mit den Frequenzgängen der beiden Topteile und Subwoofer über die Endstufe mit Filterung gemessen. Die Topteile P10 werden durch die Filter in ihrem Verlauf präzise begradigt. Ein kleine Abweichung gibt es jetzt nur noch für die P10j bei hohen Frequenzen, wo der Pegel im Bereich um 9 kHz um ca. 3 dB abfällt. Die Ursache könnte auch in der Wahl der Messposition liegen, wo bei der gekrümmten Variante keine eindeutig definierte Mittelachse bestimmt werden kann. Ein etwas anderer Winkel kann dann schnell zu Abweichung bei hohen Frequenzen führen.

Ein wichtiger Aspekt bei Topteil/Subwoofer-Kombinationen ist das Zusammenspiel im Übergangsbereich. Hier müssen nicht nur die Pegelverhältnisse passen, sondern auch die Phasenlagen, da es sonst im Überlappungsbereich zu Auslöschungen kommt. ABB. 13 und ABB. 14 zeigen exemplarisch für die Kombination einer P10i mit einem Subwoofer S210 V, wie sich die beiden Wege bezüglich der Amplituden- und Phasenverläufe ergänzen. Die Kurven vom Topteil und Subwoofer schneiden sich in dieser Einstellung bei ca. 160 Hz. Würde man den Pegel des Subwoofers noch etwas absenken, dann würde auch der Schnittpunkt in der Grafik noch etwas tiefer liegen.

mithilfe von Allpassfiltern ist dann mit messtechnischer Unterstützung eine Korrektur möglich, die jedoch abhängig von der Umgebung schwierig sein kann, wenn zusätzlich auch noch Raumresonanzen in diesen Frequenzbereich fallen. Ob eine so erstellte Phasenanpassung stimmt, lässt sich ansatzweise prüfen, indem man einfach einen der beiden Wege probeweise einmal in der Phase dreht, wodurch dann ein tiefer Einbruch im Frequenzgang bei der Trennfrequenz entstehen sollte.

### Zubehör und Preise

P10i/j Low-Z	849,00 €
P10i/j TR 100V	949,00 €
S210 V	1.199,00 €
S210 P	1.399,00 €
U-Bügel für eine P10	(inkl.)
Verbinderplatten für je zwei P10	40,00 €
Schwenk-/Neigehalter für eine P10	125,00 €
Schwenk-/Neigehalter für zwei P10	315,00 €
Flugschiene für max. drei P10	215,00 €
Masthalter	65,00 €
Deckenhalter für max. zwei P10	215,00 €
U-Bügel für einen oder zwei S210	99,00 €
Verbinderplatten für je zwei S210	19,00 €
Alle Preise netto zzgl. MwSt.	

## WAS BEDEUTET DIE ANGABE DES ERREICHBAREN MAXIMALPEGELS IN DER PRAXIS?

Bei den Messwerten von Lautsprechern sind die meisten Positionen mehr oder weniger eindeutig definiert: Impedanz, Frequenz- und Phasengang oder auch der Abstrahlwinkel beinhalten klare Informationen und können so direkt miteinander verglichen werden.

Schwierig wird es jedoch beim Thema Maximalpegel, der oft als nicht näher definierter Einzahlparameter angegeben wird und somit nur schwer zu interpretieren ist. Hinzu kommt der Wettlauf um immer höhere Werte, der zu manch einem unseriösen Zahlenwert führt.

Für eine reproduzierbare und auch unter praktischen Bedingungen vergleichbare Bestimmung des Maximalpegels werden daher in unseren Testberichten zwei bewährte Messverfahren eingesetzt: zum einen die Messung mit Sinusburst-Signalen und als

### Fazit

Mit der neuen SI Series bietet HK Audio ein auf Festinstallation spezialisiertes Lautsprecher-Set an. Die beiden als Zeilen mit Breitbändern aufgebauten Topteile eignen sich aufgrund ihres Richtverhaltens auch für schwierige raumakustische Verhältnisse und erlauben dank der EN54-24-Zertifizierung auch uneingeschränkten Einsatz in Sprachalarmanlagen sowohl innen wie auch in außen. Die Einstufung in die Schutzklasse IP66 unterstreicht diesen Anspruch. Als Ergänzung im Bassbereich für Musikwiedergabe bietet die SI Series zwei nahezu identische 2 x 10"-Subwoofer an, die sich primär in ihrer Schutzklasse IP44 oder IP66 unterscheiden. Letzteres wird durch den Einsatz von Passivmembranen anstelle eines herkömmlichen Bassreflexgehäuses erreicht. Die SI Series eignet somit nicht nur für schwierige Räume, sondern auch für Außeninstallation in Freizeitparks, Sportstätten und vieles mehr, wo die Lautsprecher das ganze Jahr über der Witterung ausgesetzt sind. Messtechnisch und auch die Fertigungsqualität betreffend spielt die SI Series uneingeschränkt auf professionellem Niveau, was sich auch in der Auswahl der ergänzenden Elektronik von LAB Gruppen, Powersoft oder QSC widerspiegelt. Die Preisliste der SI Series hält noch einige weitere Überraschung in positiver Hinsicht bereit: Mit 849 € netto für eine P10 und 1.199 € netto für einen Subwoofer S210 V gibt es viel solide und hochwertige Technik fürs Geld, was auch für das reichlich vorhandene Zubehör zur Montage der Lautsprecher gilt. •



Das SI-System mit zwei Subwoofern und zwei Topteilen; unten der S210 P mit den Passivmembranen hinter den Abdeckungen auf der Rückseite

Zweites die Multitonmessung. Das erste Messverfahren mit Sinusbursts könnte man als typische Entwickler- oder auch Labormessung bezeichnen. Bei dieser Messung wird der Pegel mit einem Sinussignal für eine Frequenz so lange erhöht, bis ein bestimmter Verzerrungs-

anteil, typisch 3% oder 10%, erreicht wird. Der dabei gemessene Schalldruck als Mittelungspegel für die Dauer der Messung wird als Messwert festgehalten. Diese Messung wird über einen sinnvoll definierten Frequenzbereich durchgeführt. Das monofrequente Mess-

signal ermöglicht via FFT die direkte Auswertung der entstehenden harmonischen Verzerrungen (THD). Die Länge des Burst-Signals kann dabei einen Einfluss auf das Messergebnis haben, wenn Limiter oder andere Schutzschaltungen im Spiel sind und schon inner-

halb der Messdauer eines Bursts eingreifen. Auf der anderen Seite wird aber auch eine gewisse Länge des Sinusburst für die Auswertung der Verzerrungen benötigt. Je tiefer die Frequenz des Sinus ist, umso länger muss der Burst sein, um via FFT eine THD-Auswertung zu ermöglichen. Für einen typischen Messbereich beginnend bei 40 Hz hat sich zur Auswertung eine FFT vom Grad 14 bewährt, woraus bei 48 kHz Samplerate mit einem Burst-Vorlauf eine Gesamtlänge von 683 ms resultiert. Würde man mit dieser Burstlänge Hochtöner messen, dann könnten bereits die Limiter eingreifen oder, falls es diese nicht gibt, der Treiber auch Schaden

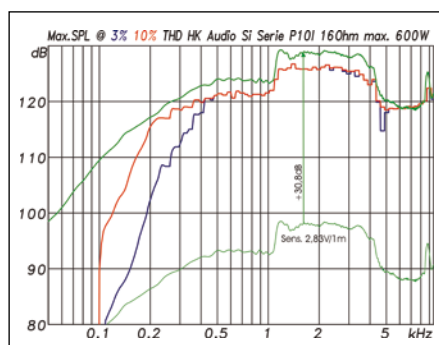


Abb. 16: Maximalpegelmessung der P10i für höchstens 3% und 10% Verzerrungen mit Sinusburst-Signalen. Für maximal 600 W Leistung an 16 Ω ergibt sich aus der Sensitivity bei 2,83 V durch eine Verschiebung der Kurve um 30,8 dB die grüne Kurve für den rechnerischen Maximalpegel.

nehmen. Daher wird die Burst-Messung abhängig von der Frequenz mit angepassten Längen von 683 ms bis 43 ms durchgeführt.

Für die Kurven in Abb. 16 und Abb. 17 wurde diese Art der Messung jeweils separat für eine P10i und für den S210 V ausgeführt. Die gemessenen Pegelwerte sind Mittelungspegel für die Dauer des Burst-Signals bezogen auf 1 m Entfernung. Da mit einem Sinussignal gemessen wird, liegt der Spitzenpegel in diesem Fall nur 3 dB darüber. Durchgeführt wurden die Messungen in einem Abstand von 4 m und dann auf 1 m nach dem 1/r-Gesetz (-6 dB pro Entfernungsverdopplung) zurückgerechnet. Für den Subwoofer wurde zusätzlich noch eine Korrekturfunktion zur

Kompensation der Raumeinflüsse unterhalb von 100 Hz eingesetzt, da der reflexionsarme Raum hier nicht mehr perfekt funktioniert. Die Grenzwerte für die zulässigen Verzerrungen von maximal 3% und 10% THD sind für Lautsprecher typische Werte, an denen sich frequenzabhängige Schwächen gut erkennen lassen. Fallen beide Kurven für 3% und 10% über weite Bereiche zusammen, so wie in Abb. 16, dann bedeutet das, dass der Grenzwert nicht erreicht wurde, bevor ein Limiter oder ein definiertes Leistungslimit die Messung gestoppt hat. Ganz typisch ist auch das Verhalten der Kurven zu tiefen Frequenzen hin, wo sie sich deutlich separieren, da hier

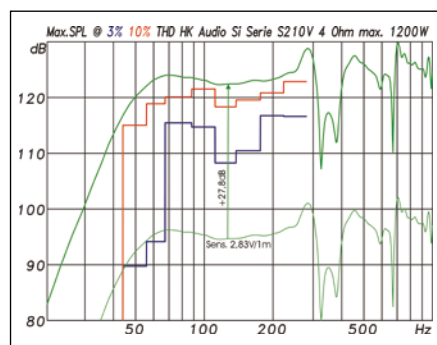


Abb. 17: Maximalpegelmessung des Subwoofers S210 V für höchstens 3% und 10% Verzerrungen mit Sinusburst-Signalen. Für maximal 1.200 W Leistung an 4 Ω ergibt sich aus der Sensitivity bei 2,83 V durch eine Verschiebung der Kurve um 27,8 dB die grüne Kurve für den rechnerischen Maximalpegel.

durch die größere Membranauslenkung mehr Verzerrungen entstehen. Ähnlich verhält es sich bei Lautsprechern mit Kompressionstreibern als Hochtöner, da es durch die Kompressionskammer schon recht früh zu einem Anstieg der Verzerrungen kommt. Letzteres lässt sich bei der P10 nicht beobachten, da sie komplett mit Breitbändern bestückt ist.

Was sagen die Sinusburst-Messungen nun aus? Einbrüche in den Kurven deuten auf partielle Schwachstellen hin, die es hier weder bei der P10i noch beim S210 V gibt. Des Weiteren lässt sich anhand der Sensitivity und der zulässigen Leistung berechnen, wie weit man sich dem rechnerisch möglichen Maximalpegel nähert. Die beiden grünen Kur-

ven in den Diagrammen zeigen jeweils die Kurve der Sensitivity für 2,83 V sowie mit der entsprechenden Verschiebung den sich daraus ergebenden rechnerischen Verlauf bei maximaler Leistung. Für die P10i bedeutet die maximale Leistung von 600 W an 16 Ω eine Spannung von 98 V entsprechend +30,8 dB gegenüber den 2,83 V. Für die S210 V sind es 69,3 V an 4 Ω entsprechend +27,8 dB zu den 2,83 V für die Sensitivity. Möchte man aus diesen Kurven einen Einzahlwert ableiten, dann könnte man für den S210 V 120 dB und für die P10i 123 dB angeben.

Für die Praxis relevanter ist die zweite Methode der Maximalpegelmessung mit einem Multitonsignal. Das hierzu verwendete Messsignal besteht aus 60 Sinussignalen mit Zufallsphase und einer EIA-426B-Gewichtung. Je nach Anwendung können auch andere spektrale Gewichtungen, z. B. für ein Sprachsignal, genutzt werden. Der Crestfaktor, des so synthetisierten Messsignals, liegt bei einem praxistypischen Wert von 4 entsprechend 12 dB. Ein großer Vorteil dieser Messmethode ist die Möglichkeit, synchron zu messen und direkt via FFT das Signalspektrum zu erhalten, woraus sich alle neu hinzugekommenen Verzerrungsanteile leicht analysieren lassen. Das betrifft sowohl harmonische Verzerrungen (THD) wie auch alle Intermodulationsverzerrungen (IMD). Die Summe aller Verzerrungen wird dann als Total Distortions (TD) bezeichnet. Ebenso wie bei der Sinusburst-Messung kann bei der Multitonmessung auch ein Verzerrungswert als Grenzwert definiert werden.

Als zweites Kriterium neben den Verzerrungsanteilen kann mit dieser Messung auch noch die Powercompression ausgewertet werden. Man startet dazu die Messreihe zunächst mit einem geringen Pegel im linearen Arbeitsbereich des Lautsprechers, bei dem noch keine Powercompression auftritt. Von diesem Wert ausgehend wird dann der Pegel zunächst in 2-dB-Schritten und später 1-dB-Schritten weiter erhöht. Irgendwann folgt der Lautsprecher dann diesen Pegelerhöhungen entweder breitbandig oder auch nur in einzelnen Frequenzbändern nicht mehr. Als Grenzwert für die Powercompression wurde definiert, dass die Werte breitbandig nicht mehr als 2 dB betragen

dürfen und in einzelnen Frequenzbändern nicht mehr als 3 dB.

Abb. 18 zeigt die Auswertung der Powercompression für die P10i. Vom Startwert mit einem Mittelungspegel von 101 dB ausgehend wurde der Grenzwert für die Powercompression bei +14 dB (grüne Kurve in Abb. 18) erreicht. Die dabei gemessenen Spektren zeigt Abb. 19. Der so gemessene Mittelungspegel  $L_{eq}$  beträgt 113,7 dB und der Spitzenpegel 126 dB bei -19 dB (11%) Gesamtverzerrungen. Rechnerisch ohne Powercompression wäre ein  $L_{eq}$  von 115 dB zu erwarten gewesen, der sich aufgrund der 1–2 dB Kompression über einen breiten Frequenzbereich um 1,3 dB reduziert.

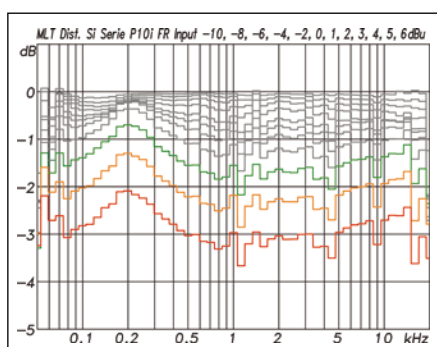


Abb. 18: Messung der Powercompression für eine P10i mit einem Multitonsignal mit EIA-426B-Spektrum und 12 dB Crestfaktor. Die grüne Kurve erfüllt knapp das Kriterium von nicht mehr als 2 dB Powercompression in mehreren benachbarten Frequenzbändern.

Eine vollständige Angabe des Maximalpegels könnte anhand dieser Messreihe lauten: 126 dB Peak und 114 dB Mittelungspegel für ein typisches Musiksignal mit EIA-426B-Spektrum und 12 dB Crestfaktor. Abgekürzt könnte man sich auch auf den Peakwert von 126 dB beschränken. Speziell wenn es um das Thema Sprachalarmierung geht, ist der zu erreichende Pegel als Mittelungspegel für ein Testsignal mit Sprachspektrum und 12 dB Crestfaktor definiert. Maximal 3 dB Kompression haben sich dabei als noch akzeptabel gezeigt.

Abschließend stellt sich beim Thema Maximalpegel noch die wichtige Frage, wie man bereits im Planungsprozess den erreichbaren Pegel mit einem definierten Signal, z. B. Sprache oder Musik, vorhersagen kann. Nehmen

wir dazu als Beispiel wieder die P10i und ein Signal mit einem EIA-426B-Spektrum mit 12 dB Crestfaktor. Abb. 20 zeigt den mit der EASE-GLL dafür berechneten Maximalpegel, der bei knappen 118,8 dB liegt. In der System Information der GLL ist nachzulesen, dass für die Low-Z-Version der P10i eine maximale Spannung von 69 Vrms zugelassen wird. Achtung: Der als Input Voltage in der GLL dazu angegebene Wert von 40 Vrms stimmt damit nicht überein, weil die Filter aus dem Controller bei den Berechnung erst danach folgen, wodurch sich der Spannungswert verändert.

Konkret bedeutet das, wenn ich einen Mittelungspegel von 118,8 dB messen möchte, dann

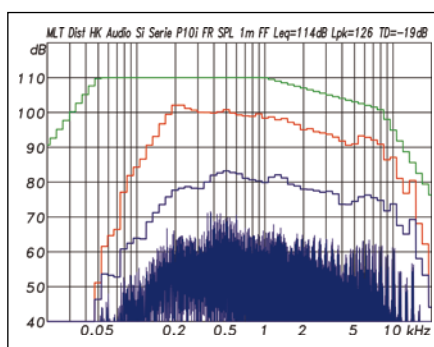


Abb. 19: Aus der Messung der grünen Kurve in Abb. 18 abgeleitete Spektren für das Gesamtsignal (rot) und für alle Verzerrungskomponenten (blau). Die grüne Kurve zeigt die spektrale Zusammensetzung des Multisinusignals. Der so gemessene Mittelungspegel  $L_{eq}$  beträgt 114 dB und der Spitzenpegel  $L_{pk}$  126 dB. Der Verzerrungsanteil beträgt -19 dB (11%).

muss mein Verstärker eine Ausgangsspannung von 69 Vrms liefern. Für ein Sinussignal wäre das für die Endstufe PLM12K44 kein Problem. Habe ich jetzt aber ein Signal mit einem sehr viel größeren Crestfaktor, z. B. ein Sprachsignal oder das STIPA-Testsignal mit einem Crestfaktor von 12 dB, dann müsste der Verstärker Spitzenwerte in vierfacher Höhe von 276 Vpk liefern. Das kann jedoch selbst diese Endstufe nicht. Die maximale Ausgangsspannung liegt bei 188 Vpk. Das bedeutet, wenn ich die 12 dB Crestfaktor unkomprimiert beibehalten möchte, dann erreiche ich als Mittelungspegel nicht 118,8 dB, sondern nur 115,5 dB.

Alternativ akzeptiere ich eine Signalkompression um 3,3 dB in den Spitzen und erreiche dann auch den  $L_{eq}$  von 118,8 dB. In diese Berechnung ist jedoch noch keine Powercompression durch Limiter, durch die Treiber, die Endstufe etc. eingegangen. Die vorab gezeigte Multitonmessung mit genau diesem Signal lieferte maximal 114 dB als Mittelungspegel, wo sich die 1,5 dB Verlust durch die Powercompression gegenüber den berechneten 115,5 dB abbilden.

Das klingt alles kompliziert und vielleicht auf den ersten Blick auch etwas verwirrend, ist aber leicht zu überblicken, wenn man um den in der EASE GLL hinterlegten Spannungswert als rms-Voltage weiß, diesen mit dem Faktor 4

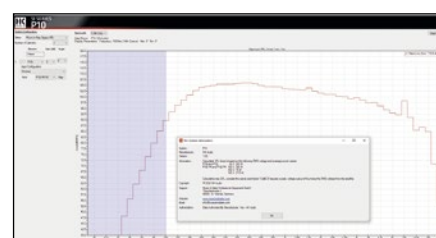


Abb. 20: Mit der zugehörigen EASE-GLL berechneter Maximalpegel von 118,8 dB

multipliziert, um auf den dafür erforderlichen Peak-Voltage-Wert zu kommen, und diesen dann mit der tatsächlich möglichen maximalen Ausgangsspannung der Endstufe ebenfalls als peak Voltage vergleicht.

Auf die P10 angewandt bedeutet das: Ich weiß den Wert von 69 Vrms, daraus folgt ein Spitzenwert von 276 Vpk. Die Endstufe kann aber nur 188 Vpk und somit 3,3 dB zu wenig, um das Signal unkomprimiert zu übertragen. Dementsprechend verliere ich 3,3 dB gegenüber der Berechnung, von denen ich vorsichtshalber zur Berücksichtigung der Powercompression nochmal 1–2 dB abziehe. Und schon hat man den gewünschten Wert, der dann in Praxis auch erreicht werden sollte. Der entscheidende Punkt ist hier die Endstufe, deren maximale Ausgangsspannung man unbedingt beachten und mit in die Berechnung einbeziehen muss. Setzt man so z. B. anstelle der großen PLM12K44 nur eine IPD2400 ein, die maximal 100 Vpk liefert, dann beträgt der Pegelabzug gegenüber dem berechneten Wert aus der GLL nicht 3,3 dB, sondern 8,8 dB.