

# **Die Lautsprecher der Installation-Serie**

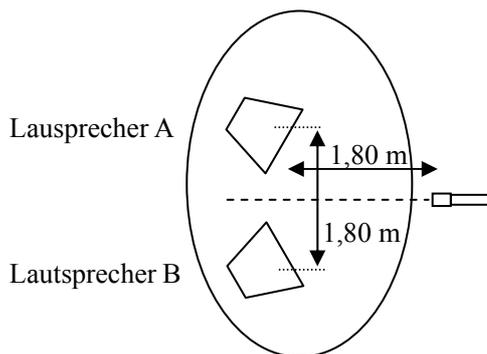
**YAMAHA CORPORATION  
PA·DMI Division,  
Advanced System Development Center**

**Ein Whitepaper  
über die  
Lautsprecher der Installation-Serie**

# 1 Einführung

Für Tonmeister und Tontechniker ist es von größter Bedeutung, dass sich ein Lautsprechersystem so leicht wie möglich an die Eigenschaften der Gebäudeeinrichtungen anpassen lässt. Auf dieselbe Weise, wie die Leinwand eines Malers weiß sein muss, um die wirklichen Nuancen seiner Farben zu zeigen, muss auch ein Lautsprechersystem eine „weiße Leinwand“ sein in dem Sinne, dass sie die als Input bereitgestellten Wellenformen genau reproduziert und linear auf die Entzerrung reagiert – im Audibereich sagt man, sie muss für einen „gleichförmige Wiedergabe“ sorgen. Die beiden häufigsten Gründe für Unregelmäßigkeiten dieser Art sind durch die Aufstellung oder die architektonischen Bedingungen verursachte „Kammfilter“ sowie die „Differenz zwischen den Phaseneigenschaften der Lautsprecher“. Erstere sind im Rahmen des Systemkonzepts mit Aspekten wie Lautsprecherwinkel usw. zu betrachten. Der zweite Grund ist als entscheidendes Kriterium dafür zu sehen, ob die Lautsprecher von Yamaha ihre Eigenschaft als „weiße Leinwand“ erfüllen.

<Abbildung 1: Bedingung der Lautsprechermessung>



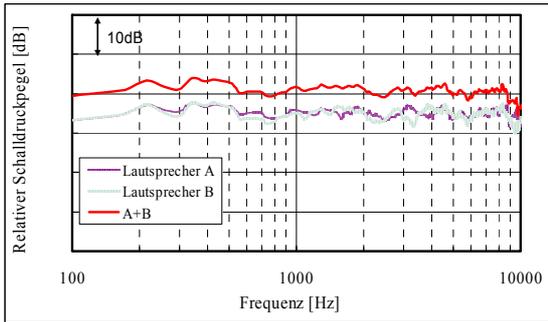
Wir haben einen einfachen Test durchgeführt, um die Phaseneigenschaften mit Hilfe von 2-Wege-Lautsprechersystemen zu messen.

Abbildung 1 zeigt die Versuchsanordnung. Lautsprecher A weist eine Hochfrequenz-Richtwirkung von 60 Grad x 40 Grad (horizontal x vertikal) und Lautsprecher B von 90 Grad x 50 Grad auf. Der Amplitudengang ist fast identisch. Wenn beide Lautsprecher mit denselben Phaseneigenschaften gleichzeitig angesteuert werden, steigt der relative Schalldruckpegel bei allen Frequenzen um 6 dB (siehe Abbildung 2).

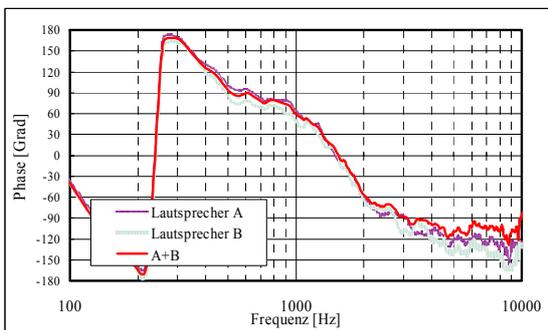
Daraufhin änderten wir die Phaseneigenschaften von Lautsprecher B und nahmen Messungen vor. Die Ergebnisse können Sie Abbildung 3 entnehmen. In dem Frequenzbereich, in dem die Phasendifferenz höher als 120 Grad ist, tritt eine erhebliche Auslöschung im Amplitudengang auf (die Auslöschung ist erkennbar in dem Bereich, in dem die Phasendifferenz zwischen 120 und 240 Grad beträgt). In dem Frequenzbereich, in dem die Auslöschung beobachtet wird, reagiert der Verstärker nicht linear. Es ist also sehr schwierig, die Frequenzeigenschaften mit einem Verstärker zu verbessern.

<Abbildung 2: Ansteuern von zwei Lautsprechersystemen mit denselben Phaseneigenschaften>

**Amplitude**

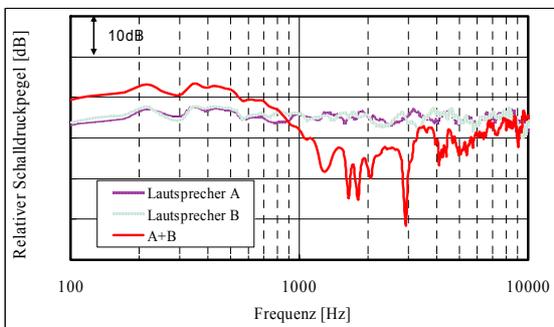


**Phase**

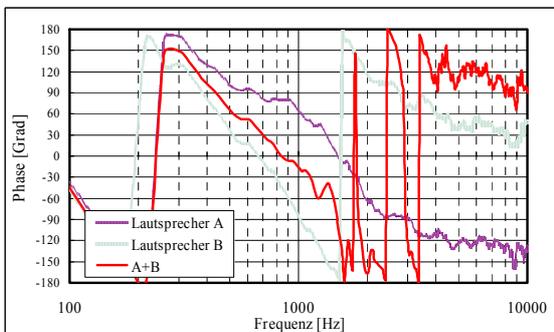


<Abbildung 3: Ansteuern von zwei Lautsprechersystemen mit verschiedenen Phaseneigenschaften>

**Amplitude**



**Phase**



Dieses Problem tritt nicht nur bei ein- und demselben Lautsprechermodell auf, sondern auch zwischen verschiedenen Lautsprechermodellen.

Bei Live-Konzerten werden häufig aus mehreren gleichartigen Lautsprechern bestehende Lautsprecher-Arrays verwendet. In Gebäudeeinrichtungen werden hingegen häufig verschiedene Lautsprechermodelle zusammen eingesetzt. Yamahas Ansatz lautete, dass wir, auch wenn in einem System verschiedene Lautsprechermodelle verwendet werden, eine „weiße Leinwand“ anbieten und die Phaseneigenschaften berücksichtigen müssen, mit dem Ziel, die Phaseneigenschaften über alle Modelle der Serie zu vereinheitlichen. Hinsichtlich der Klangqualität strebten wir sowohl die Klarheit von Sprache (PA) als auch die High-Fidelity-Klangverstärkung von Stimme/Musikinstrumenten an, während die Vereinheitlichung der Klangfarbe (Family Sound Concept) aller Produkte der Serie das Basiskonzept war.

Darüber hinaus unternahmen wir große Anstrengungen, um die natürlichen Dimensionen des Klangbilds zu reproduzieren. Mit anderen Worten: Die Größe des Bildes soll eine präzise Darstellung der Quelle sein, insbesondere in Bezug auf Sprache. Zusammengefasst lässt sich also sagen: Das Entwurfskonzept der „Installation“-Serie ist die Umsetzung der Konzepte für die Phaseneigenschaften und Klangfarbe.

Im Folgenden werden die Einzelheiten unseres Konzepts erklärt und beschrieben, wie das Konzept umgesetzt werden soll.

## 2 Berücksichtigung der Phaseneigenschaften von Lautsprechern

In einem Entwurf der „Installation-Serie“ untersuchten wir zunächst die Einflüsse der Phaseneigenschaften von Lautsprechern auf ihre (Amplituden-/Phasen-)Gänge an Empfangspunkten.

### 1) Phaseneigenschaften bei verschiedenen Treibern

Das Problem der Phasendifferenz kann auch in Systemen mit einem Lautsprecher auftreten (z. B. zwischen dem HF- und LF-Treiber eines 2-Wege-Lautsprechers). Abbildung 4 zeigt den Phasengang eines 2-Wege-Lautsprechers. Die Cutoff-Frequenz ist 1,5 kHz für den HPF (18 dB/oct, BW) und den LPF (18 dB/oct, BW).

Wir wollen uns im Folgenden auf die Frequenz 1,5 kHz konzentrieren.

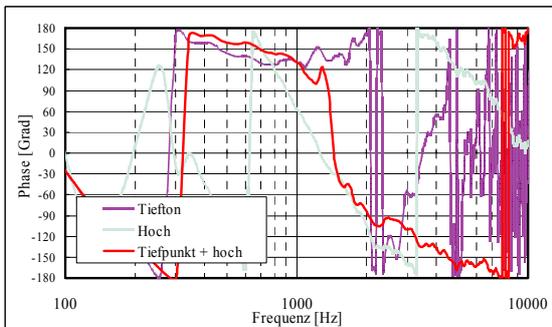
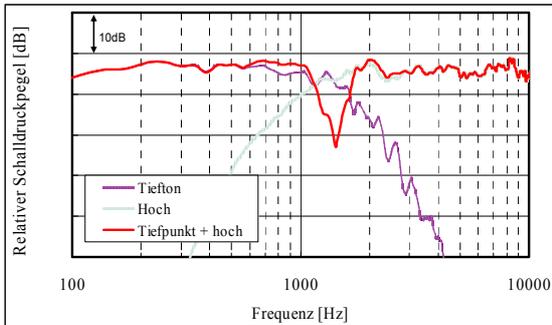
An der Kurve des Amplitudengangs können Sie erkennen, dass der Klang der Frequenz 1,5 kHz sowohl vom HF- als auch vom LF-Treiber reproduziert wird. Die Phasengangkurve zeigt, dass die Phasendifferenz zwischen dem HF und dem LF 180 Grad beträgt. Beide Signalpegel sind gleich hoch, so dass sie sich gegenseitig auslöschen, was im Ergebnis ein Abfallen (Dip) in den Amplitudeneigenschaften erzeugt.

Auch in der Kurve des allgemeinen Phasengangs können Sie erkennen, dass sich die Phase zwischen 1 kHz und 2 kHz plötzlich ändert. Dies hat zur Folge, dass der Lautsprecher am Übergangspunkt ungünstige Phaseneigenschaften aufweist. Abbildung 5 zeigt den Phasengang desselben 2-Wege-Lautsprechersystems wie in Abbildung 4, mit dem Unterschied, dass

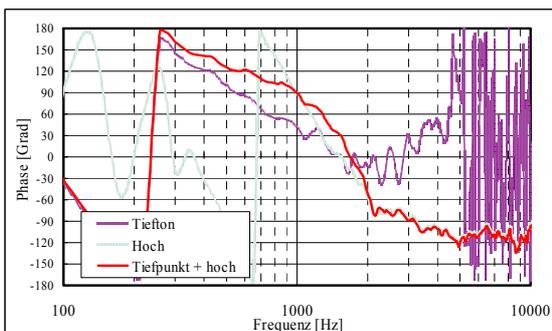
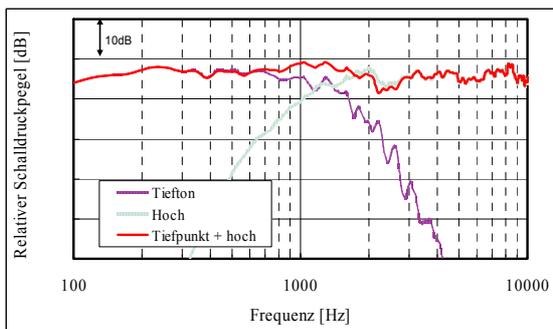
das Lautsprechersystem korrigiert ist, um die Phasendifferenz im Bereich zwischen 1 kHz und 2 kHz auf weniger als 90 Grad zu reduzieren. Der Kurvenverlauf der Phaseigenschaften ist über den gesamten Bereich konstant, so dass der ungünstige Einfluss der Amplitudeneigenschaften minimiert ist.

Die „Installation“-Serie weist einen gleichmäßigen Phasengang mit konstantem Kurvenverlauf über den gesamten Bereich auf.

<Abbildung 4: Einfluss der Phasendifferenz auf den Amplitudengang>



<Abbildung 5: Reaktion eines Lautsprechersystems mit phasengleichen Einheiten >



## 2) Erörterung des Phasengangs bei Systemen mit mehreren Lautsprechern

Bei der Aufstellung von Lautsprechern in Sälen, Theatern, Kirchen usw. werden häufig mehrere Lautsprecher in Arrays angeordnet. In diesen Situationen können in Überlappungsbereichen, die von mehr als einem Lautsprecher abgedeckt sind, Probleme auftreten. Dies bedeutet, dass es, wie unter 2-1) beschrieben, zu einer Verringerung (Dip) des Amplitudengangs kommen kann. Die Ursache hierfür ist in der Phasendifferenz zu sehen, die durch den unterschiedlichen Abstand zwischen der Lautsprecherposition und der Hörposition bedingt ist. Vom Standpunkt des Systementwurfs ist es daher sehr wichtig, den Überlappungsbereich zu minimieren, aber es ist sehr schwierig, ihn vollständig zu eliminieren.

Unter der Bedingung, in der zwei Lautsprecher wie in Abbildung 6 verwendet werden, gibt Tabelle 1 das Verhältnis zwischen der „Abstandsdifferenz“ und „Phasenverschiebungsfrequenz“ an. Die Abstandsdifferenz gibt die Differenz zwischen den Abständen von diesen Lautsprechern zum Testpunkt an. Die Frequenz zeigt den Punkt, wo die durch diese Abstandsdifferenz verursachte Phasendifferenz 90 Grad beträgt.

Der Parameter  $\theta$  ist der Winkel zur zentralen Achse.

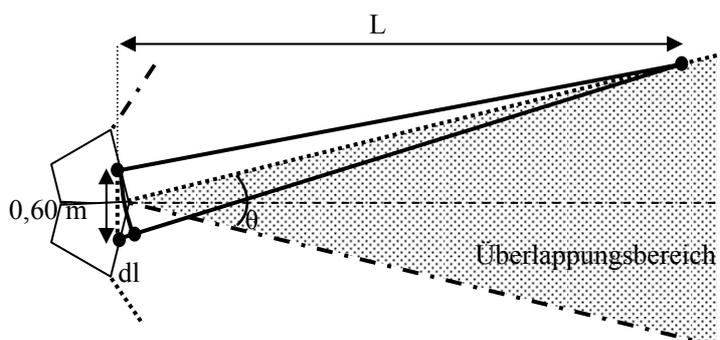
Tabelle 1 zeigt Folgendes:

Wenn der Überlappungsbereich kleiner als 10 Grad ist, ist die durch die Abstandsdifferenz verursachte Phasendifferenz im Überlappungsbereich bei einer Frequenz von 1 kHz oder weniger unabhängig vom Abstand von der Klangquelle geringer als 90 Grad. Bei einem Überlappungsbereich von bis zu 20 Grad ist die Phasendifferenz bei einer Frequenz von 1 kHz oder weniger geringer als 120 Grad.

Es besteht die Auffassung, dass bei diesem Betrag der Phasendifferenz die Interferenz vernachlässigt werden kann. Daher ist es in dieser Situation sehr wichtig, die Phaseneigenschaften von zwei Lautsprechern aneinander anzupassen, um Amplitudeneigenschaften ohne ein Abfallen der Kurve zu erhalten (analog zum oben beschriebenen Phänomen der Phaseneigenschaften zwischen Treibern).

(Beachten Sie, dass die Richtwirkung eines Lautsprechers von der Frequenz abhängig ist, weswegen Sie in der Praxis Frequenz, Richtwirkung und Abstand beachten müssen.)

<Abbildung 6: Berücksichtigung der Eigenschaften im Überlappungsbereich>



<Tabelle 1: Verhältnis zwischen Abstandsdifferenz und Phasenverschiebungsfrequenz im Überlappungsbereich>

$\theta$	L=20ft (18m)	L=40ft (36m)	L=80ft (72m)
5	0.174 / 3252Hz	0.174 / 3249Hz	0.174 / 3248Hz
10	0.347 / 1627Hz	0.347 / 1626Hz	0.347 / 1626Hz
15	0.517 / 1087Hz	0.517 / 1086Hz	0.518 / 1085Hz
20	0.683 / 817Hz	0.684 / 816Hz	0.684 / 816Hz

**Phasendifferenz = 90 Grad**

$\theta$	L=20ft (18m)	L=40ft (36m)	L=80ft (72m)
5	0.087 / 4336Hz	0.087 / 4332Hz	0.087 / 4331Hz
10	0.174 / 2170Hz	0.174 / 2168Hz	0.174 / 2167Hz
15	0.261 / 1449Hz	0.261 / 1448Hz	0.261 / 1447Hz
20	0.347 / 1089Hz	0.347 / 1088Hz	0.347 / 1088Hz

**Phasendifferenz = 120 Grad**

Um die Gültigkeit unserer Überlegungen zu bestätigen, führten wir den folgenden Test durch.

Mit dem Yamaha SREV1 erzeugten wir Phasendifferenzen von 90, 120 und 150 Grad bei 2 kHz, indem wir die Impulsantwort simulierten, die eine andere Neigung der Phaseneigenschaften im Frequenzbereich hat.

Dann verglichen wir den Frequenzgang am Testpunkt.

Abbildung 7 zeigt die Testumgebung, während Abbildung 8 das Ergebnis darstellt.

Der Testpunkt ist deutlich von der Wand entfernt. Wir verwenden ein Grenzflächenmikrofon, um den Effekt der Klangreflexion von der Wand oder vom Boden zu vermeiden.

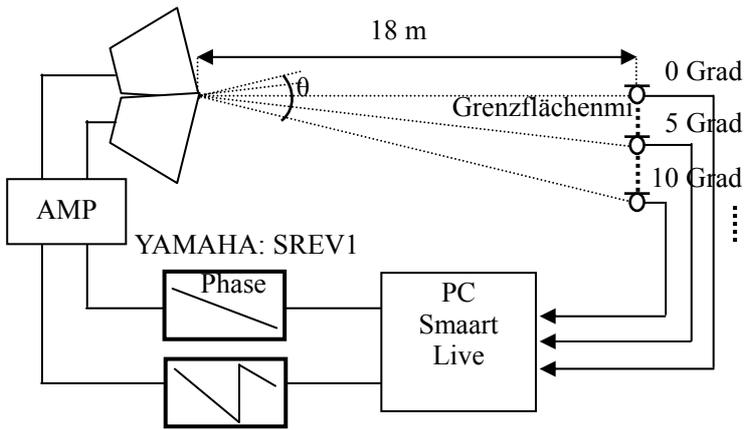
Alle Ergebnisse werden durch das Ergebnis unter der Bedingung  $\theta=0$  und keine Phasendifferenz standardisiert.

Beide Lautsprecher weisen eine Richtwirkung von 60x40 auf, und der Winkel ihrer seitlichen Abschrägung beträgt 15 Grad.

Wenn keine Phasendifferenz vorliegt, ist die Pegeldifferenz bei 2 kHz oder darunter, falls  $\theta$  kleiner oder gleich 15 Grad ist, niedriger als 3 dB. Ist  $\theta$  kleiner oder gleich 25 Grad, beträgt die Pegeldifferenz bei 1 kHz oder darunter weniger als 3 dB. Bei zunehmender Phasendifferenz wird der Bereich größer, der vom durch die Interferenz verursachten Abfällen (Dip) betroffen ist, während sich die Dip-Frequenz verringert.

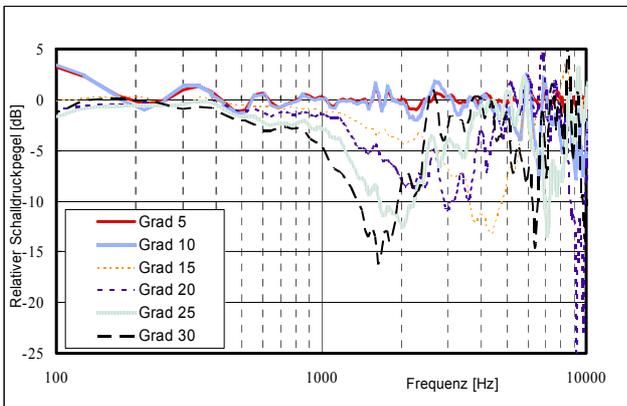
Wenn bei einer Phasendifferenz von 90 Grad  $\theta$  kleiner oder gleich 15 Grad ist, ist die Pegeldifferenz bei 1 kHz oder darunter niedriger als 3 dB. Bei einer Phasendifferenz von 150 Grad liegt die Pegeldifferenz bei 1 kHz selbst bei  $\theta$  kleiner oder gleich 10 Grad über 6 dB. Diese Ergebnisse zeigen, dass es bei Verwendung von mehr als einem Lautsprecher sehr wichtig ist, die Phaseneigenschaften der Lautsprecher aneinander anzupassen, um an jeder Position im Raum dieselbe Antwort zu erhalten.

<Abbildung 7: Testbedingung>

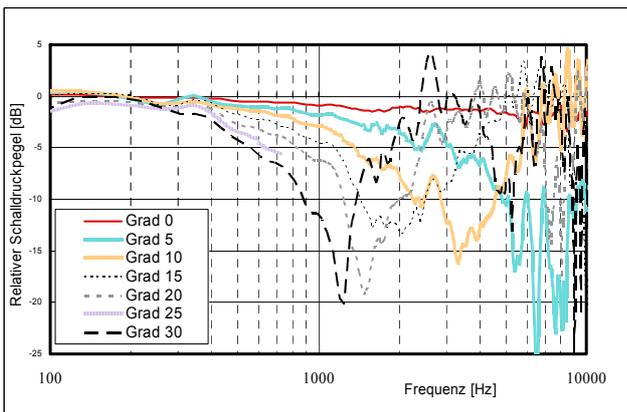


<Abbildung 8: Eigenschaften im Überlappungsbereich>

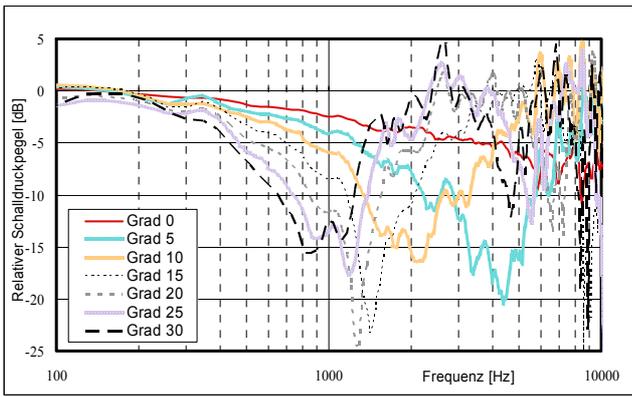
**Phase 0 Grad**



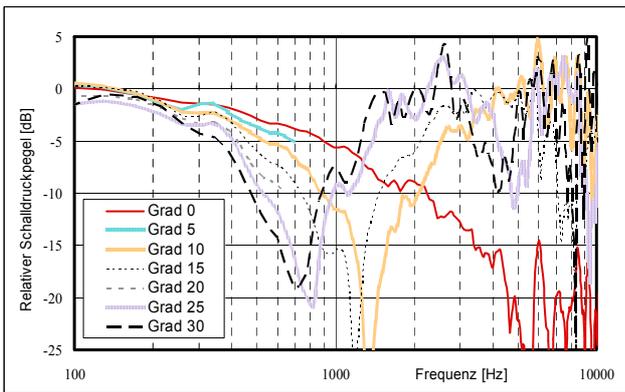
**Phase 90 Grad**



**Phase 120 Grad**



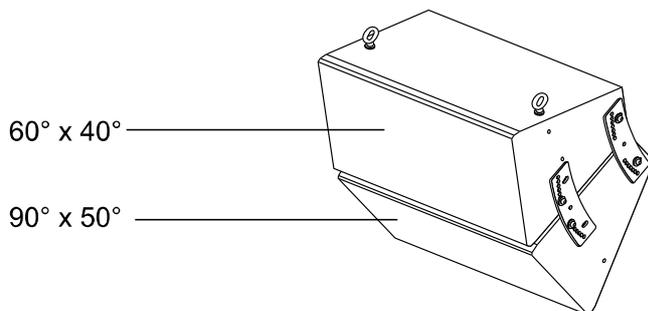
**Phase 150 Grad**



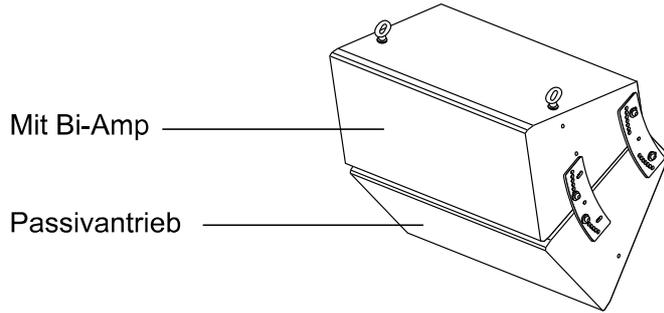
Bei Lautsprecheraufstellungen in der Praxis (in Theatern usw.) werden normalerweise verschiedene Lautsprechermodelle mit unterschiedlicher Richtwirkung verwendet, entsprechend dem jeweils abzudeckenden Bereich. Außerdem werden möglicherweise verschiedene Lautsprecher/Leistung-Kombinationen eingesetzt (siehe Abbildung 9). Beim Entwurf der Lautsprecher der „Installation“-Serie stand dieser Aspekt im Mittelpunkt. Yamaha hielt es für außerordentlich wichtig, die Phaseneigenschaften nicht nur zwischen Lautsprechern desselben Modells, sondern auch verschiedener Modelle abzugleichen.

<Abbildung 9: Verschiedene Lautsprecherkombinationen>

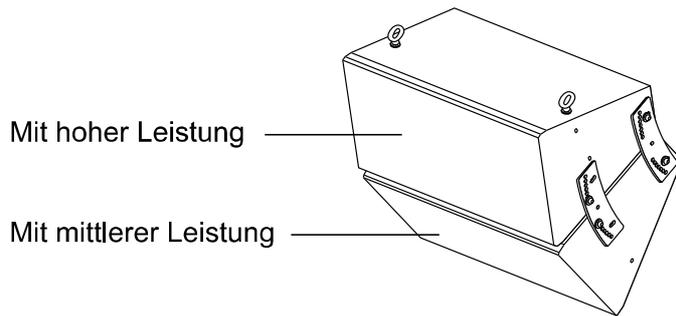
<Gleiches Gehäuse, verschiedene Richtwirkungen>



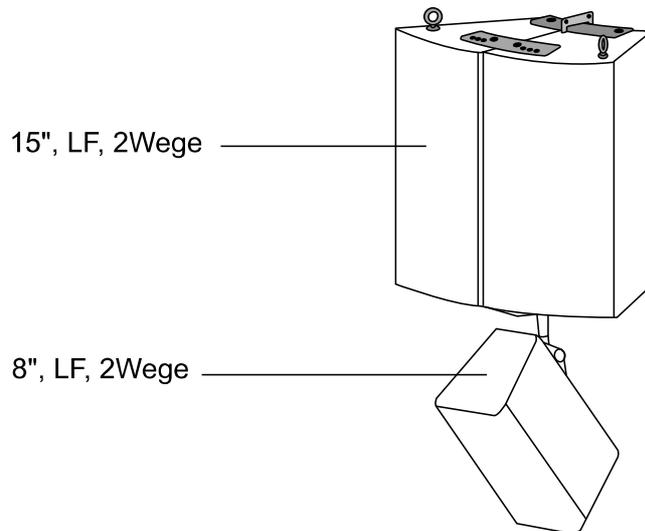
<Gleiches Gehäuse, verschiedene Antriebsmodi>



<Gleiches Gehäuse, verschiedene Leistungen>



<Kombination verschiedener Gehäuseabmessungen>



## 3. Entwurfskonzept

Im oben geschilderten Experiment konnten wir die Phasensteuerung als einen der wichtigsten Faktoren identifizieren. Anschließend konzentrierten wir uns besonders auf die Ausgewogenheit zwischen Phasen- und Klangsteuerung und bemühten uns um die Umsetzung des „Phasengleichheitskonzepts“ und des „Family Sound Concept“. Im Folgenden finden Sie Details für beide Konzepte.

### 1) Phasensteuerung

#### (1) Phasengleichheitskonzept

Nach dem oben geschilderten Ergebnis sollten die Phaseneigenschaften aller Lautsprecher in dieser Serie gleich sein.

- Gleiche Phaseneigenschaften zwischen gleichen Gehäusemodellen mit unterschiedlichen Richtwirkungen
- Gleiche Phaseneigenschaften zwischen Modellen mit Passivbetrieb und Bi-Amp-Betrieb im gleichen Gehäuse.
- Gleiche Phaseneigenschaften zwischen Modellen mit hoher und mittlerer Leistung (lieferbar ab Herbst 2005) im gleichen Gehäuse.
- Gleiche Phaseneigenschaften zwischen Modellen mit verschiedenen Gehäusen.
- Die Phasendifferenz zwischen Lautsprechern darf bei 2 kHz maximal 90 Grad betragen.

#### (2) Methode mit minimaler Phasenänderung

Es gibt zwei Methoden zur Steuerung der Phaseneigenschaften von Mehrwege-Lautsprechern.

##### A. Methode mit minimaler Phasenänderung

Bei dieser Methode ist das Ziel, die Phasenänderung zwischen 20 Hz und 20 kHz zu minimieren. Die gleichmäßig geänderten Phaseneigenschaften werden innerhalb eines Umlaufs realisiert (180 Grad bis -180 Grad).

Das Problem des Pegelabfalls (Dip) der Amplitudeneigenschaften tritt mit hoher Wahrscheinlichkeit im Frequenzbereich auf, in dem Hochfrequenz- und Tieffrequenztreiber sich überschneiden.

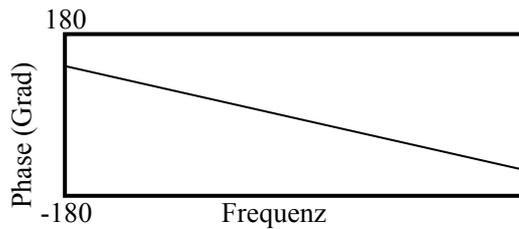
##### B. Methode mit gleichem Phasenverlauf

Diese Methode zielt auf eine gleichmäßige Phasenänderung über den gesamten Frequenzbereich ab. Es wird nicht versucht, die Phasenänderung zu minimieren.

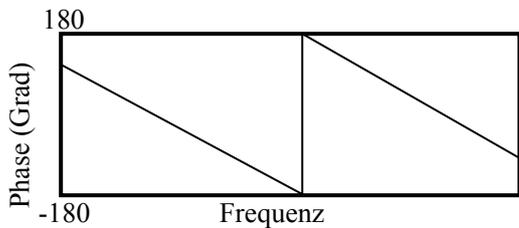
Indem dem Tieffrequenztreiber eine Verzögerung hinzugefügt wird, um den Phasenverlauf des Tieffrequenztreibers an den Phasenverlauf des Hochfrequenztreibers anzupassen, werden die Phaseneigenschaften der beiden Treiber einander angepasst.

Mit diesem Verfahren beträgt die Phasendifferenz am Übergang der Phaseneigenschaften der beiden Treiber 360 Grad. Vom Standpunkt der Anhebung/Absenkung der Amplitudeneigenschaften kann dies jedoch als Phasengleichheit betrachtet werden, wodurch das Problem des Pegelabfalls im Übergangsbereich vermieden werden kann. Diese Methode ist einfacher als die „Methode mit minimaler Phasenänderung“, wengleich die Phase über den gesamten Bereich erheblichen Änderungen unterliegt.

<Abbildung 10: „Typ mit minimaler Phasenänderung“ und „Typ mit gleichem Phasenverlauf“



**Methode mit minimaler Phasenänderung**



**Methode mit gleichem Phasenverlauf**

Bevor wir mit dem Entwurf der „Installation“-Serie begannen, konstruierten wir Prototypen für die Typen „mit minimaler Phasenänderung“ und „mit gleichem Phasenverlauf“ und führten einen Hör-/Vergleichstest durch. Dabei ergaben sich die folgenden Ergebnisse.

Beim Testen mit einem Bi-Amp-Lautsprecher unter DSP-Verwendung waren im Übergangsbereich kleine Differenzen hörbar, wengleich es schwer fiel, festzustellen, welcher besser war.

Beim Testen mit einem Passivlautsprecher klang der Typ mit minimaler Phasenänderung mit einem einfachen Netzwerk besser.

Darüber hinaus befürchteten wir, dass jedes Modell eine andere Verzögerungszeit für den Tieffrequenztreiber haben würde, wenn alle Lautsprecher der „Installation“-Serie mit der „Methode mit gleichem Phasenverlauf“ korrigiert würden. Damit könnte bei der gleichzeitigen Verwendung von mehr als einem Lautsprecher das Problem auftreten.

Aus den genannten Gründen entschieden wir uns für den „Typ mit minimaler Phasenänderung“.

## 2) Steuerung der Klangqualität

### (1) Zielklang

Als Hauptziele der „Installation“-Serie legten wir Säle, Theater und Kirchen fest.

In solchen Räumlichkeiten können Konferenzen, Konzerte, Musicals, Vorlesungen usw. stattfinden. Daher lautete die Mindestanforderung für das SR-System die Erzeugung eines klaren und guten Klangs sowie eines ausreichenden akustischen Pegels an jeder Position im Bereich. Darüber hinaus wurde ein High-Fidelity-Sound für Stimme und Musikinstrumente sowie für die Wiedergabe von Musik oder Umweltgeräuschen verlangt.

Aus diesen Gründen bemühten wir uns für die Klangqualität der Produkte der „Installation“-Serie neben flachen Amplitudeneigenschaften um folgende Ziele:

Sprachverständlichkeit

- Ausgewogener und gut getrennter Klang für Musik
- Keine Klangfärbung unabhängig vom Gesamtpegel
- Gleiche Klangfarbe an jeder Position innerhalb des Richtwirkungsbereich
- Angemessene Größe des Klangbilds jeder Quelle

### (2) Family Sound Concept

Für Einrichtungen in einem Saal, einem Theater oder einer Kirche können zusätzlich zu den Hauptlautsprechern Hilfslautsprecher wie Under-Balcony- und Front-Fill-Lautsprecher für das Publikum eingesetzt werden.

Die von diesen Lautsprechern erzeugten Klänge werden im Raum/Saal gemischt. Es erwies sich jedoch stets als schwierig, an jeder Position des Raums/Saals dieselbe Klangfarbe zu erzeugen, da sich die Klangfarbe eines Lautsprechers je nach Größe und Modell ändert (auch bei Modellen eines Herstellers).

Nun hat Yamaha das „Family Sound Concept“ eingeführt. Diesem Konzept zufolge besitzen alle Lautsprecher in derselben Serie die gleiche Klangfarbe.

- Vereinheitlichung der Klangfarbe zwischen Modellen mit verschiedener Richtwirkung bei gleichem Gehäuse
- Vereinheitlichung der Klangfarbe zwischen dem Passiv- und Bi-Amp-Modus desselben Modells
- Vereinheitlichung der Klangfarbe zwischen Modellen mit hoher und mittlerer Leistung bei gleichem Gehäuse
- Vereinheitlichung der Klangfarbe zwischen Modellen mit verschiedenen Gehäusen

### **(3) Minimierung der elektronischen Kompensation**

Die Entzerrung kompensiert den Amplitudengang, verursacht andererseits aber auch eine Verschlechterung der Phaseneigenschaften. Je mehr Sie den Amplitudengang kompensieren, desto höher ist die Phasenänderung.

Daher setzten wir uns das Ziel, die elektronische Kompensation mit dem Equalizer zu minimieren.

Insbesondere für den Übergangsbereich versuchten wir, den Equalizer überhaupt nicht zu verwenden.

### **(4) Kooperation mit einem externen Lautsprecherdesigner**

Wir entschlossen uns dazu, die Lautsprecher gemeinsam mit einem externen Lautsprecherdesigner zu konzipieren.

Der Leiter des Lautsprecherentwicklungsteams von Yamaha war Akira Nakamura. Er entwickelte

Hifi-Lautsprecher „NS1000M“, einen wahren Dauerbrenner mit anhaltendem Erfolg, den

De-facto-Standardlautsprecher für das Studio „NS10M“ und die aktiven Monitorlautsprecher der „MSP-Serie“.

Wir wählten Mr. Michael Adams als externen Lautsprecherdesigner. Er ist nicht nur ein „alter Hase“ im Bereich der Lautsprecherentwicklung, sondern verfügt auch über eine langjährige Erfahrung als SR-Techniker. Zur Zeit ist er Chefdesigner von „Audio Composite Engineering“, einem U.S.-amerikanischen Unternehmen, das Lautsprecher entwickelt.

Er verstand Yamahas Konzept, das sehr schwer zu realisieren schien. Er ist einer der wenigen Lautsprecherdesigner mit den „goldenen Ohren“ eines SR-Technikers.

## 4. Design- und Entwicklungsstil

Entwurf und Entwicklung eines Prototyps erfolgten in drei separaten Stufen.

In der ersten Stufe wurde Proto 1 zur ersten Klangbewertung entwickelt. Mit Hilfe der Ergebnisse der Bewertung von Proto 1 wurde in der zweiten Stufe Proto 2 entwickelt. Für den Basisentwurf von Gehäuse und Trichter und die Treiberauswahl war „Audio Composite Engineering“ zuständig.

Yamaha führte die detaillierten Datenmessungen und den Hörtest nicht nur im schalltoten Raum, sondern auch in der praktischen Umgebung durch. Anschließend wurden die analysierten Ergebnisse sowie die Zusammenfassungen über Probleme und Lösungen „Audio Composite Engineering“ als Feedback mitgeteilt.

In der dritten Stufe erfolgte in der Fabrik, in der die Endprodukte hergestellt wurden, auf der Basis von Proto 2 die Produktionsvorbereitung mit den Teilen und Materialien für die Massenproduktion. Dies war die Probeproduktionsstufe zur Überprüfung der Qualität der finalen Massenfertigungsprodukte. Es wurden verschiedene Gehäuse mit verschiedenen Materialien oder Lackierungen gebaut. Daran wurden verschiedene Komponenten befestigt und getestet.

Im Folgenden wird die aktuelle Situation für jede Komponente dargestellt.

### - **Trichter**

Wir bewerteten Trichter durch die Messung von Daten wie Phasengang und Amplitudengang sowie durch Hörtests zur Überprüfung der Klarheit, Auflösung, Größe des Klangbilds usw.

Der Trichter mit dem für 15-Zoll- und 12-Zoll-Modelle verwendeten 1,4-Zoll-Hals verbesserte die Klangdurchdringung und -auflösung. Dies ist die maximale Trichtergröße, die in das Gehäuse eingebaut werden kann. Das Material ist GVK, der mit Glasfaser verbessert und durch die Hinzufügung von schwingungsdämpfendem Material schallgedämpft wurde.

Alle Trichter sind innerhalb eines Bereichs von 90 Grad drehbar.

### - **Kompressionstreiber für Hochfrequenzbereich**

Nach wiederholten Hörtests zur Realisierung des Family-Sounds wählten wir die Treiber aus. Im Ergebnis wurden alle gewählten Treiber von demselben Hersteller produziert.

Der für das 15-Zoll- oder 12-Zoll-Modell verwendete Treiber verwendet eine 3-Zoll-Schwingspule und eine Titanmembran. Die Zarge und die Membran sind integriert. Die Zarge ist vom tangentialen Typ, um eine höhere Haltbarkeit und bessere Klangqualität zu ermöglichen.

### - **Tieftöner für Tieffrequenzbereich**

Um zu verhindern, dass das Klangbild bei hoher Leistung zusammenbricht, verwenden der 15-Zoll- und 12-Zoll-Tieftöner 4-Zoll-Schwingspulen.

Die Tieftöner wurde unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte sorgfältig ausgewählt:

- Bietet sowohl Höhendämpfungsfaktor als auch gleichmäßigen Tieffrequenzgang
- Klangliche Abstimmung mit Gehäuse
- Gleichmäßiger Übergang zur Hochfrequenz

Der magnetische Kreis verwendet zur Verbesserung der magnetischen Dichte einen großen Ferritmagneten, was zu einem klaren und gestochen scharfen Klang führt.

### - **Gehäuse**

Nach den Hörtests beschlossen wir, für das Gehäuse 11-lagiges finnisches Birkenholz zu verwenden.

Die Tuning-Frequenz ist auf den Punkt gesetzt, an dem der Schalldruck aus der Öffnung den Tieffrequenzgang am effektivsten beeinflusst.

Wir bauten einen Prototyp, bei dem die Tuning-Frequenz mit einer Computersimulation berechnet wurde, führten vielfache Hörtests durch, um die Abstimmung zwischen Gehäuse und Tieftöner zu überprüfen, und führten dann schließlich die Verbesserung aus.

Um den klaren Klang beizubehalten, erhielten Seitenwand und Schallwand dieselbe Höhe. Auf diese Weise wurde die Klangreflexion durch die Seitenwand verhindert, durch welche der Klang undeutlicher wird.

Zur Verbesserung von Stärke und Resonanz wurde das Innere durch Aussteifung gestärkt. Im Endergebnis konnten wir eine klare Klangqualität ohne Nebengeräusche der Lautsprecherbox sicherstellen.

Im Gehäuseinneren wird 25-mm Glaswolle als Klangschalldämmungsmaterial verwendet, was einen vollen, aber nicht gehaltenen ausgewogenen Tieffrequenzklang zur Folge hat.

Um eine höhere Klangdurchdringung zu erzielen, ist das Metallgitter zu 63 % geöffnet.

### - **Netzwerk**

Um eine Verschlechterung des Klangs durch das Netzwerk zu verhindern, ist das Netzwerk sehr einfach.

Für das Tieffrequenznetzwerk der 15- und 12-Zoll-Modelle eine Spule, die 15-Gauge-Kupferdraht an den großen Siliziumstahlplattenkern bindet, und ein großer Filmkondensator mit kleinem  $\tan \theta$ , um den hoch aufgelösten Klang auch bei höherer Leistung zu gewährleisten.

Um denselben Phasen- und Amplitudengang wie beim Bi-Amp-Betrieb zu erhalten, führten wir wiederholte

Computersimulationen und tatsächliche Messungen durch, bevor wir den Netzwerkentwurf abschlossen. Wir konnten also sowohl das „Phasengleichheitskonzept“ als auch das „Family Sound Concept“ in die Praxis umsetzen. Es gelang uns, die Phasenänderung über den gesamten Bereich zu minimieren und sinkende Phaseigenschaften ohne abrupte Phasenänderungen sowie gleichmäßige Amplitudeneigenschaften zu erzeugen.

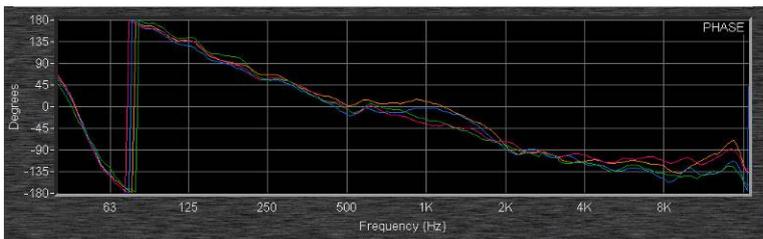
## 5. Phaseigenschaften der „Installation“-Serie

Die folgenden Kurven zeigen die Phaseigenschaften der „Installation“-Serie und von Konkurrenzmodellen. An diesen Kurven können Sie erkennen, dass die Phaseigenschaften der „Installation“-Serie unabhängig von Richtwirkung, Antriebsmodus und Modell fast identisch sind.

<Abbildung 11: Vergleich der Phaseigenschaften>

### YAMAHA'S INSTALLATION-SERIE

#### Vergleich unterschiedlicher Richtwirkungsmuster



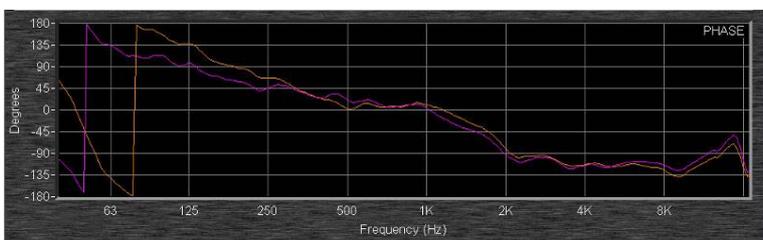
Orange: IF2115/64/Bi-Amp

Blau: IF2115/95/Bi-Amp

Rot: IF2115/99/Bi-Amp

Grün: IF2115/AS/Bi-Amp

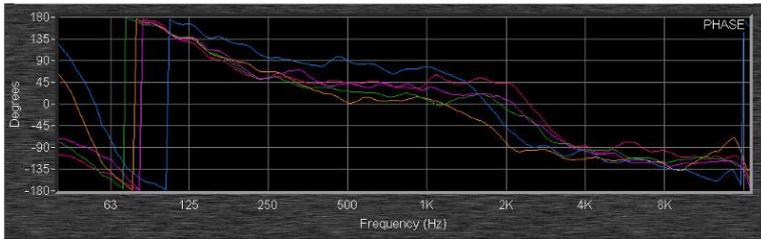
#### Vergleich unterschiedlicher Antriebsmodi



Orange: IF2115/64/Bi-Amp

Lila: IF2115/64/passiv

### Vergleich zwischen Modellen



Orange: IF2115/95 Bi-Amp

Blau: IF2112/95 Bi-Amp

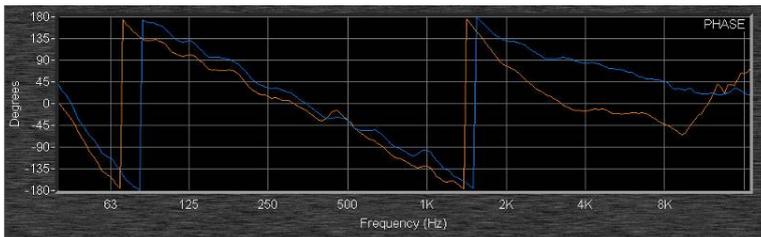
Grün: IF2208

Lila: IF2108

Rot: IF2205

### Konkurrenzmodell

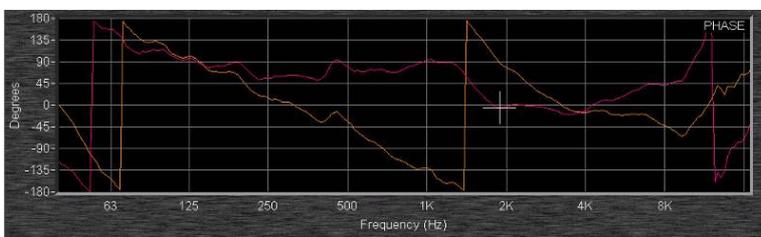
#### Vergleich unterschiedlicher Richtwirkungsmuster



Orange: 15\"/>

Blau: 15\"/>

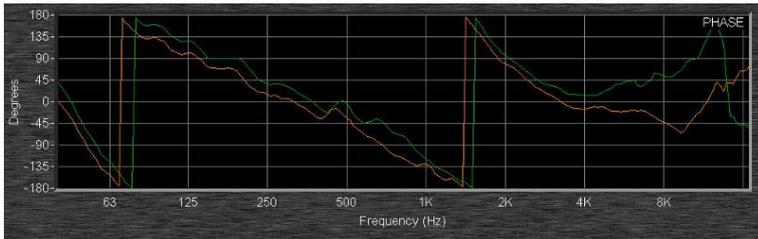
#### Vergleich unterschiedlicher Antriebsmodi



Orange: 15\"/>

Rot: 15\"/>

## Vergleich zwischen Modellen



Orange: 15"LF 2-Wege 60x40 Bi-Amp von Konkurrenz

Grün: 12"LF 2-Wege 60x40 Bi-Amp von Konkurrenz

## 6. Zusammenfassung

Im Herbst 2004 luden wir Gutachter ein und veranstalteten ein Treffen bei „Audio Composite Engineering“, um die Klangqualität des finalen Prototyps bewerten zu lassen. Mit von den Gutachtern mitgebrachten CDs und Mikrofonen wurde eine sehr sorgfältige Bewertung vorgenommen. Das Treffen endete mit stürmischem Applaus.

In Japan veranstalteten wir ein ähnliches Treffen zur Bewertung der Klangqualität.

Beide Treffen stellten unter Beweis, dass es uns mit der „Installation“-Serie gelungen ist, unser Entwurfskonzept zu realisieren und eine Top-Klangqualität anzubieten. Insbesondere die Umsetzung des Family Sound Concept ist optimal gelungen. Durch den Sprachtest auf Englisch und Japanisch mit einem Mikrofon wurde nachgewiesen, dass die Serie Stimmen in beiden Sprachen sehr klar verstärkt.

Die Lautsprecher für Gebäudeeinrichtungen der „Installation“-Serie von Yamaha lösen die Probleme, die auf Grund der gleichzeitigen Verwendung mehrerer Lautsprecher entstehen. Wir hoffen inständig, dass Sie bei Verwendung mehrerer Lautsprecher die Klangqualität, die Vereinheitlichung der Klangfarben, die lineare Reaktion der Verstärkung usw. bestätigt finden.

Yamaha plant, die Serie in Zukunft um ein 3-Wege-Modell und 2-Wege-Modell mit mittlerer Leistung zu ergänzen. Darüber hinaus plant Yamaha für das Ende des Jahres 2005 die Einführung des digitalen Sprachprozessors.

Um die „Installation“-Serie über DSP-Verarbeitung anzutreiben, können Sie allgemeine Lautsprecherprozessoren verwenden, da kein spezieller Crossover-Filter und Equalizer erforderlich sind. Wie sind jedoch der Meinung, dass die „DME24N/64N“ von Yamaha hinsichtlich Klangqualität die beste Kombination darstellt. In naher Zukunft möchten wir auf der Yamaha-Website die DSP-Einstellungsdaten und EASE-Daten bereitstellen. Beachten Sie, dass wir in der letzten Phase der Klangkorrektur die Yamaha-Aktivverstärker der PC-01N-Serie verwendet haben.

Zur Zeit entwickeln wir parallel zur Entwicklung der Hardware für diese Artikel eine Simulationsanwendung, mit deren Hilfe sich die Entwurfsphase eines Klangsystems einfach durchführen lässt. Alles, was Sie tun müssen, ist die Form und Größe des Raums und den Schalldruckpegel an der Hörposition einzugeben. Auf der Grundlage dieser Daten liefert die Anwendung Empfehlungen für eine optimale Array-Konfiguration. Sie ermöglicht Ihnen auch eine Simulation der Entzerrung zur Kompensation der Array-Eigenschaften. Das Ergebnis der Entzerrungssimulation kann als Library-Datei auf dem Yamaha DME24N/64N gespeichert werden.

Wenn Sie diese Simulationssoftware zusammen mit der „Installation“-Serie von Yamaha verwenden, können Sie den Zeitaufwand für die Anpassung an die Umgebung dramatisch reduzieren.

Abschließend möchten wir an dieser Stelle Audio Composite Engineering und Mr. Michael Adams unseren tief empfundenen Dank aussprechen.

#### Referenzteil

- [1] G. Davis und R. Jones, „Sound Reinforcement Handbook, Zweite Ausgabe“, Yamaha, 1989
- [2] D. Davis und C. Davis, „Sound System Engineering, Zweite Ausgabe“, Focal Press, 1997