

## Special Bässe

Grundlagen	S. 34
Herstellerstatements	S. 40

SPECIAL: GRUNDLAGEN

# Vom richtigen Umgang mit Bässen

Für ältere Menschen und so manchen Anwohner einer Diskothek mögen sie zwar sehr lästig sein, bei der Musikwiedergabe sowie als Spezialeffekt in Kinoproduktionen sind sie jedoch unerlässlich für ein ausgewogenes Klangerlebnis. Die Rede ist von den tiefen Frequenzen des Klangspektrums, mit deren Besonderheiten wir uns im folgenden etwas näher beschäftigen möchten.

Bei der Aufstellung und Auswahl der Systeme werden oft Fehler gemacht, die zu Auslöschungen, Überlagerungen und stehenden Wellen führen. Dabei ist die Wellenlänge von Tieftonsystemen sehr lang und durchaus beherrschbar. Durch die richtige Aufstellung von Tieftonsystemen kann man die Richtwirkung und die Abstrahlcharakteristik optimal beeinflussen und sogar ein wenig lenken.

## Verschiedene Bauformen

In klassischen Bauformen von Subwoofern wird die Vorderseite des Lautspre-

chers von der Rückseite getrennt. Dadurch wird die Schallauslöschung von rückwärtigem und frontseitigem Schall verhindert, die man sofort feststellt, wenn man einen Tieftöner ohne Gehäuse an einem Verstärker anschließt. Dieser Effekt wird als „akustischer Kurzschluss“ bezeichnet. Bei der Bassreflexbox wird durch das Bassreflexrohr der Schall so verzögert, dass sich frontseitiger und rückwärtiger Schall nicht mehr auslöschten, sondern bei passender Auslegung im Tieftonbereich sogar addieren. Um niedrige Frequenzen mit ausreichender

Leistung abzustrahlen, müssen bestimmte Anforderungen erfüllt sein:

- starke Magnetfelder
- große Membranfläche
- großer Hub der Schwingspule
- Verarbeitung hoher elektrischer Leistung

**Die Membran darf dabei aber nicht zu groß sein, denn die Resonanzfrequenz erhöht sich, je größer die Membran ist.**

Unter der Resonanzfrequenz wird kaum noch Schallleistung erzeugt. Deshalb muss die Membran entsprechend große Amplituden ausführen können, und die

Eigenfrequenz des Basslautsprechers muss genügend tief sein. Die Resonanzfrequenz ist auch abhängig von der Konstruktion des Gehäuses. Basslautsprecher und Gehäuse bilden dem zufolge ein integriertes System. Wenn Gehäuse und Basslautsprecher nicht aufeinander abgestimmt sind, kommt es zu nichtlinearen Verzerrungen, die die Wiedergabe sehr beeinflussen.

## 1. Geschlossene Lautsprecher



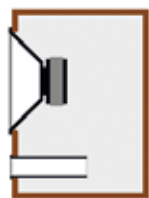
Ein luftdichtes Gehäuse ohne Löcher, eher untypisch im professionellen Einsatz.

**Geschlossene  
Lautsprecherbox**

## 2. Bassreflex

Dieser Boxentyp ist mittlerweile Standard für die meisten Anwendungen. Im Gegensatz zum geschlossenen Gehäuse lässt man den Schall, der nicht in Richtung Raum abgegeben wird, nicht totlaufen, sondern durch ein Rohr nach außen gelangen. Gehäusvolumen und Länge der Reflexrohre sollten vorher genau auf das jeweilige Chassis angepasst werden, damit es nicht zu Laufzeitproblemen kommt. Auch die Resonanzen, die gerade bei tiefen Bässen auftreten, sollten hier genau bedacht werden. Die Belohnung ist eine Verschiebung der Resonanzfrequenz nach unten,

unter einigen Bedingungen mehr Tiefgang und eine höhere Belastbarkeit als bei geschlossenen Subwoofern. Es gibt jedoch auch deutliche Nachteile: Die Berücksichtigung der Reflexöffnung erhöht die Gruppenlaufzeit, außerdem dröhnen



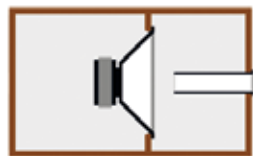
Bassreflexsysteme stärker als geschlossene Boxen.

**Bassreflex**

## 3. Bandpass

Eigentlich nichts weiter als eine Bassreflexbox, die in einer weiteren Reflexbox eingeschlossen ist. Der Vorteil ist ein enorm hoher Wirkungsgrad bei einer leider nur geringen Bandbreite. Die Bandbreitenbeschränkung ist zum Teil steiler als

eine Weiche 4ter Ordnung. Im Profibereich gibt es sehr gute Bandpässe, die sehr tief und sehr sauber spielen, dabei aber gigantische Pegelreserven bieten.



**Bandpass**

## 4. Hörner

Die Lautsprechermembran, (das Material der Membran spielt hier keine Rolle) hat die Aufgabe, Luft in Bewegung zu setzen. Im uneingebauten Zustand gelingt dies einem Lautsprecher um so besser, je höher die Frequenz ist. Bei den tiefen Tönen macht sich der akustische Kurzschluss immer stärker bemerkbar. Aber selbst wenn man den Lautsprecher in ein Gehäuse einbaut, bleibt das

Problem bestehen, dass die Luft, die von der Membran beschleunigt werden soll, vor der Lautsprechermembran ausweichen kann und die Membran quasi ins Leere läuft. Der Hornlautsprecher spielt lauter, weil die Energie, die dem Lautsprecher zugeführt wird, zu einem wesentlich größeren Teil auch als Schallenergie an die Luft (den Raum) abgegeben wird. Je nachdem, mit welcher Seite die Membran des Lautsprechers in das Horn strahlt, werden 2 Bauweisen unterschieden:

- Frontloaded (Membranvorderseite)
- Rear- oder Backloaded (Membranrückseite)

Neben diesen grundsätzlichen Hornformen unterscheiden sich Hörner durch die mathematische Gesetzmäßigkeit, durch die sich der Hornquerschnitt vergrößert. Im Folgenden die 3 wichtigsten:

- Konisch
- Exponentiell
- Hyperbolisch

Für alle Hornformen gilt: Je tiefer die untere Grenzfrequenz eines Horns sein soll, desto – länger muss das Horn sein.

– größer muss der Hornmund sein.

– langsamer muss sich das Horn öffnen.

Nach der Theorie müssten Basshörner, die wirklich tiefe Frequenzen wiedergeben sollen, indiskutable Dimensionen annehmen. Deshalb hat man Basshörner trotz der Nachteile einfach kürzer gebaut.

## Konisches Horn

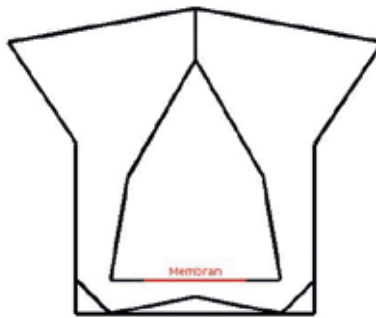
Dies ist die einfachste Form eines Horns. Die Seitenlinie des Horns ist eine Gerade. Konische Trichter können die Form eines Kegelstumpfes (mit kreisförmiger oder elliptischer Grundfläche) oder die eines Pyramidenstumpfes haben.

**Verwendung findet diese Hornform hauptsächlich als Schalltrichter, den beispielsweise Steuerleute im Ruderboot direkt vor den Mund halten, um ihre Stimme lauter ertönen zu lassen.** In seltenen Fällen findet man es als Hochtonhorn. Das konische Horn hat von den aufgezählten die niedrigsten Verzerrungen, weil es sich am Hornbeginn am schnellsten öffnet.

Für Tieftonlautsprecher ist es wegen seiner Größe indiskutabel.

## Exponentielle Hörner

Bei dieser Bauform, die wohl in der Praxis am häufigsten angewendet wird, öffnet sich das Horn nach einer Exponentialfunktion. Ein solches Horn öffnet sich im Bereich des Hornhalses wesentlich langsamer als ein konisches Horn und dann zum Hornmund hin immer stärker. In der Regel öffnet sich das Horn bis zu einem Öffnungswinkel von 45 Grad. Da sich das Horn anfangs langsamer öffnet, ergibt sich – gerade bei gefalteten Konstruktionen – ein deutlich kleineres Gehäusevolumen. Das Exponentialhorn stellt den idealen Kompromiss zwischen Verzerrungsfreiheit und Baugröße dar.



Bandpass

## Cardioid-Systeme

Cardioid-Systeme sind entweder fertige Systeme, wie sie von manchen Herstellern direkt angeboten werden, oder es handelt sich um eine Kombination aus mehreren Lautsprechern die über eine spezielle Signalbearbeitung (Allpass-Filter) zu einem Cardioid-System aufgebaut werden. Das Ziel ist eine Reduzierung der rückwärtig abgestrahlten Energie. Cardioid-Systeme zeichnen sich durch eine Direktivität bei niedrigen Frequenzen aus. Dies bringt folgende Vorteile für Beschallungssysteme:

- Der Diffusschall wird verringert. Dies hat enorme Auswirkungen in großen, halligen Räumen.
- Der rückwärtig abgestrahlte Energieanteil des Tieftöners ist deutlich geringer

als bei herkömmlichen Systemen, was auf Bühnen den Pegel deutlich reduziert und eine weitaus höhere Rückkopplungsfreiheit gewährleistet. Durch ein kardioides Subwoofersystem ist es möglich, bei tiefen Frequenzen eine große Richtwirkung zu erreichen. Das Prinzip setzt eine zweite Schallquelle in einem definierten Abstand hinter der ersten ein, um deren rückwärtig abgestrahlten Schall auszulöschen. Um effizient arbeiten zu können, also Schallanteile hinter dem System – jedoch nicht auf der Vorderseite – auszulöschen, muss die Weglänge zwischen vorderer und hinterer Quelle in etwa einem Viertel der zu kontrollierenden Wellenlänge entsprechen. Damit die gewünschte Auslöschung erzielt wird, müssen Phase und Pegel der hinteren Quelle mit einer separaten Signalbearbeitung und -verstärkung angepasst werden. Da die Wellenlänge eine Funktion der Frequenz ist, der Abstand der Quellen jedoch konstant, kann das Prinzip nur über etwas mehr als eine Oktave eingesetzt werden – gerade genug für ein typisches Subwoofersystem. Innerhalb dieser Bandbreite gibt es Frequenzbereiche, für die eine optimale Dämpfung nach hinten nicht gleichzeitig die bestmögliche Addition nach vorne bedeutet. Daher ist die mittlere Empfindlichkeit eines kardioiden Systems in der Hauptrichtung naturgemäß geringer als die einer herkömmlichen Anordnung der gleichen Komponenten.

## Aufstellung von Systemen

was ist zu tun, wenn man die Vorteile des Bass-Mittelclusters (gleichmäßige Schallverteilung) und der konventionellen Links-Rechts-Lösung (hoher Schalldruck) gleichzeitig nutzen möchte? Die Antwort ist simpel: Man nimmt vier oder sechs oder acht oder mehr Bässe und legt sie nebeneinander vor die Bühne (oder die untere Bühne). Die Literatur spricht hier von einem horizontalen Bass-Array, der Begriff Bass-Linearray ist nicht gebräuchlich. Die Keulenbildung nimmt entgegen der konventio-

nellen Links-Rechtslösung deutlich ab. Das Bass-Bild wird deutlich homogener und dadurch für die Zuhörer besser. Die zusätzlichen Lautsprecher dienen aber nicht wesentlich zur Erhöhung des Basspegels, sondern nur zur Ausrichtung des Schalls. Es ist unmöglich, ein Tieftonarray zu konstruieren, das für alle Frequenzen und Positionen optimiert werden kann. Doch durch den sehr begrenzten Frequenzbereich und die sehr große Wellenlänge können sehr einfach gut funktionierende horizontale Bassarrays mit mehreren Bässen gebaut werden. Folgende beeinflussen Variablen die polare Abstrahlcharakteristik des Systems:

- Die Anzahl der Systeme
- Der Abstand zwischen den Systemen
- Die maximal abstrahlende Frequenz
- Der Zeitversatz zwischen den Systemen (Delay)
- Die Polarität der Lautsprecher
- Die relativen Pegel untereinander

**Im folgenden einige Punkte, die bei der Aufstellungen von Bassarrays zu beachten sind:**

- Für die meisten Räume sollten die Arrays vertikal gestackt werden, um die vertikale Abstrahlung so eng wie möglich zu halten und die horizontale Coverage gleichmäßig zu gestalten.
- Müssen die Subs rechts und links von der Bühne aufgestellt werden, sollte der Abstand größer als fünf Wellenlängen sein.
- Werden die Subs horizontal verteilt, muss beachtet werden, dass die Abstände kleiner als die halbe Wellenlänge zwischen den Einheiten sind.
- Cardioid-Subwoofer erleichtern die Kontrolle über die rückwärtige Abstrahlung.
- Polardiagramme von Simulationssystemen sind frequenzbezogen, bei anderen Frequenzen kann das Ergebnis ganz anders aussehen.

– Raumakustik und stehende Wellen können die Vorteile von Bassarrays wieder aufheben.

**Hier einige Simulationen und Berechnungen zu Bassaufstellungen:**

Die Simulationen wurden mit der Simulationssoftware EASE durchgeführt. Da EASE keine Frequenzen unterhalb 100 Hz darstellen kann, wurde die Raumgeometrie um den Faktor 10 verkleinert und dafür die 10-fache Frequenz betrachtet. Dies soll nur die Effekte von Interferenzen zeigen. Die Raumakustik wurde nicht beachtet. Als Schallquellen wurden Kugelstrahler benutzt.

### **Herkömmliche Links-Rechts-Anordnung**

Es sind starke Interferenzen zu erkennen, die zu Auslöschungen bzw. Überhöhungen führen. Die Lage und Anzahl dieser Auslöschungen ist frequenzabhängig.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

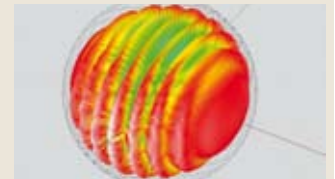
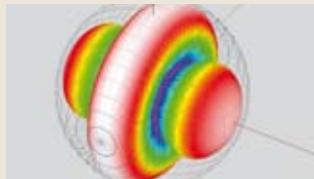
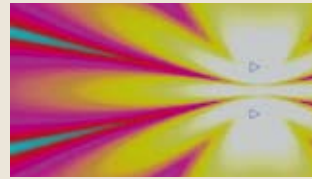
Direktschallverteilung und Balloondaten

bei 20 Hz

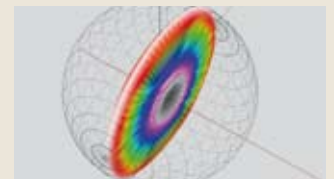
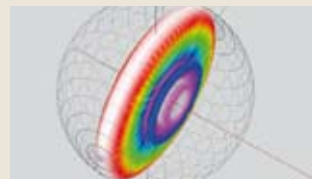
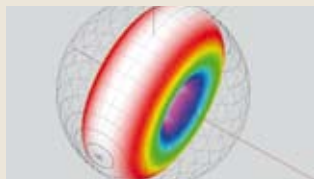
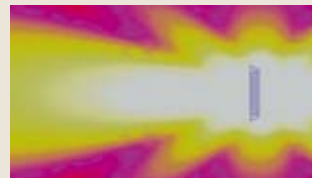
bei 50 Hz

bei 100 Hz

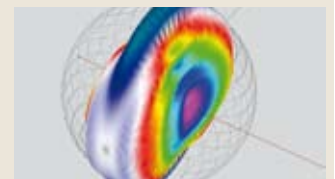
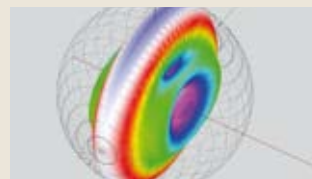
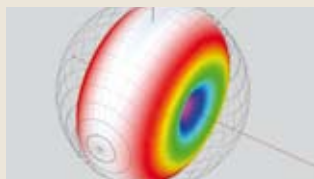
Herkömmliche  
Links-Rechts-Anordnung



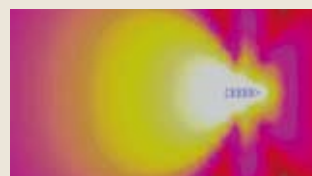
Gerades Bassarray  
mit 15 Quellen



Gekrümmtes Bassarray  
mit 15 Quellen



Hintereinander  
gestellte Bässe



## Gerades Bassarray mit 15 Quellen

Bei dem „geraden“ Bassarray ist zu erkennen, dass bei tiefen Frequenzen eine sehr gleichmäßige Verteilung stattfindet. Jedoch wird sehr stark fokussiert, je näher der Abstand der Lautsprecher an die halbe Wellenlänge kommt. Ist der Abstand größer als die halbe Wellenlänge, so entstehen Keulen, wie sie im ersten Beispiel zu sehen sind.

## Gekrümmtes Bassarray mit 15 Quellen

Um die Fokussierung, wie sie beim „geraden“ Bassarray geschieht, zu vermeiden, kann das System gekrümmt werden. Es ist zu erkennen, dass eine Aufweitung auch bei höheren Frequenzen geschieht und so über den kompletten Tieftonbereich eine gleichmäßige Verteilung im Raum ohne störende Auslöschungen zu realisieren ist. Das System kann auch elektronisch durch Verzögerungen „gekrümmt“ werden. Der Nachteil ist eine aufwändige Signalbearbeitung sowie sehr viele Verstärkerkanäle. Der Vorteil ist: Es entsteht keine Fokussierung hinter dem System (also auf der Bühne), wie sie bei mechanischer „Krümmung“ entsteht.

## Hintereinander gestellte Bässe

Wenn mehrere Bässe hintereinander gestellt werden und nach vorne immer um den Abstand von Schallaustritt zu Schallaustritt verzögert, lässt sich ebenfalls eine Richtwirkung mit Subwoofern erzielen. Diese Variante eignet sich sehr gut, wenn man unter Bühnen Platz hat.

*Text+Fotos: Christian Kimmig*



### **Christian Kimmig**

Christian Kimmig betreibt ein Ingenieurbüro für Medientechnik. Er studierte Elektrotechnik, Fachrichtung Nachrichtentechnik mit den Schwerpunkten digitale Signalübertragung und Wellenlehre. Vor seiner freiberuflichen Laufbahn arbeitete er unter anderem als Applikationsingenieur im Pro-Audio-Bereich, Studioleiter an einer Medienhochschule und in

der Messtechnik beim SWR in Baden-Baden. Zu seinen Arbeitsbereichen gehören Planung, Projektmanagement, Bauleitung, Inbetriebnahmen, Abnahmemessungen, Systembetreuung und Programmierung von medientechnischen Anlagen. Zu seinen Referenzen gehören unter anderem die Bauleitung Gerwerk Beschallungstechnik für das Wankdorfstadion Bern, Planung und Realisierung der digitalen Audiovernetzung im Movie-Park Böttrop, Planung und Ausschreibung Schmidt-Theater Hamburg, Beratung der Bauleitung für die Allianz-Arena in München, Betreuung des Beschallungssystems bei verschiedenen Großveranstaltungen und vieles mehr. Des Weiteren wird er oft als Dozent für die Bereiche Medientechnik und Elektroakustik von Hochschulen und Verleihfirmen gebucht.