

Basswiedergabe - Gehäuseprinzipien und -bauformen

Von: Dipl.-Phys. Manfred Schuster

Für eine befriedigende Wiedergabe von Musik spielt die Basswiedergabe eine nicht unerhebliche Rolle.

Gerade Musiker und DJs können von Bässen einfach nicht genug bekommen. Es gibt mehrere konstruktive Wege, wie Bassgehäuse aufgebaut werden können und die - je nach gestellter Anforderung - eine Lösung bieten.

Auch scheint dabei die Qualität der Basswiedergabe eine Frage des persönlichen Geschmacks zu sein bzw. WELCHES Konstruktionsprinzip für die Basswiedergabe denn "richtig" klingt.

Ein Basslautsprecher kann zunächst einmal ohne Gehäuse nicht betrieben werden, weil sich Druckunterschiede vor und hinter der Membran sofort ausgleichen würden. Der Lautsprecher würde zwar viel Hub produzieren, aber praktisch keine akustische Leistung abgeben und sehr schnell Schaden nehmen.

1. Unendliche Schallwand

Bei der unendlichen Schallwand wird ein Lautsprecherchassis in eine "sehr große" Wand montiert. Die Wand verhindert den Ausgleich von Druckunterschieden vor und hinter der Membran (d.h. es erfolgt eine Schallabstrahlung!).

Da die Luftvolumina vor und hinter dem Lautsprecher "sehr groß" sind, spielen nahezu nur die Resonanzfrequenz des verwendeten Lautsprecherchassis und seine Membranfläche für die Wiedergabe tiefer Frequenzen eine Rolle. Da die Effizienz unterhalb der Resonanzfrequenz abfällt, liegt der nutzbare Bereich des Lautsprechers oberhalb seiner Resonanzfrequenz.

2. Geschlossene Box

Die geschlossene Box die einfachste (und älteste) Version für ein Lautsprechergehäuse. Bei einer geschlossenen Box wird bei praktikableren Gehäusegrößen als bei einer "unendlichen Schallwand" der "akustische Kurzschluß" (d.h. der bereits beschriebene unerwünschte Druckausgleich zwischen der Luft vor und hinter der Lautsprechermembran) verhindert.

Die Resonanzfrequenz des eingebauten Lautsprechers liegt dabei höher als beim Einbau in eine unendliche Schallwand (als Folge der Federwirkung der im Gehäuse eingeschlossenen Luft) und bestimmt die untere Grenzfrequenz.

Die Effizienz (d.h. das Verhältnis aus zugeführter elektrischer und abgestrahlter akustischer Leistung) geschlossener Boxen ist bei tiefen Frequenzen geringer als bei anderen Gehäuseprinzipien, zumal die Abstrahlfläche der Lautsprechermembran im Verhältnis zu den abzustrahlenden Wellenlängen (bei 100 Hz etwa 3,5 m ...) in der Praxis viel zu gering ist.

Geschlossene Boxen eignet sich als HiFi-Wohnzimmerboxen - doch selbst hier sind die Erwartungen der Ansender (z.B. verbesserte Effizienz!) gestiegen.

3. Bassreflex-Box (auch Phasenumkehrbox)

Bei der Bassreflex-Box wird eine Öffnung ins Gehäuse geschnitten (oft ist es aber auch ein kleiner Tunnel mit einer bestimmten Länge).

Die in der Öffnung bzw. im Tunnel schwingende Luftmasse sorgt bei korrekter Auslegung für eine höhere Effizienz und durch die damit verbundene Reduzierung der benötigten Membranauslenkung für geringere Verzerrungen. Im Fachjargon redet man auch von "einer besseren Bedämpfung" des Lautsprechers.

Funktionsweise: Im Bereich der Abstimmfrequenz (d.h. bei der Frequenz, wo die Luftmasse im Tunnel am leichtesten zum Schwingen gebracht werden kann) wird die Effizienz erheblich verbessert ... oberhalb der Resonanzfrequenz verhält sich eine Bassreflex-Box mit steigender Frequenz zunehmend wie eine geschlossene Box.

Ein wenig problematisch wird es dann jedoch unterhalb der Resonanzfrequenz: Hier tritt (bei sehr tiefen Frequenzen) der bereits beschriebene akustische Kurzschluß (d.h. Druckausgleich zwischen der Luft vor und hinter der Membran) auf, wodurch die Lautsprechermembran zu stark ausgelenkt werden kann, ohne dabei noch nennenswert akustische Leistung abgeben zu können.

Mit einer kräftigen Membranzentrierung wird seitens der Lautsprecherhersteller versucht, das Risiko mechanischer Beschädigungen zu verringern.

Eine sinnvolle Lösung ist, die Frequenzen unterhalb der Abstimmfrequenz mit einem Filter (Hochpass- bzw. Subsonic-Filter) vom Lautsprecher fernzuhalten. Letzteres wird (bei Home- und Semiprofessionellen Systemen) aus Kostengründen seltener gemacht.

4. Bandpass-Box

Eine solche Gehäusekonstruktion ist in seiner einfachsten Bauform nichts anderes als ein Lautsprecher, der auf einer Seite seiner Membran eine Bassreflex-Box besitzt (d.h. mit einem Loch oder Tunnel ...) - auf der anderen Seite der Membran dann eine geschlossene Box.

Der Lautsprecher strahlt den Schall bei diesem Prinzip nicht mehr direkt mit seiner Membran in den Raum, sondern ausschließlich über die (in der Gehäuseöffnung bzw. im Tunnel) schwingende Luftmasse der Bassreflex-Box.

Eine Bandpass-Box hat durch das Konstruktionsprinzip einen eingeschränkten Übertragungsbereich. Am lautesten ist die Box im Bereich ihrer Abstimmfrequenz ... oberhalb und unterhalb davon fällt die Effizienz dann - je nach Abstimmung - mehr oder minder stark "in den Keller".

Die Effizienz einer Bandpass-Box mit schmalen Übertragungsbereich (hohe Güte !) kann recht hoch sein kann (... bei gleichzeitig "schwammiger" Basswiedergabe bzw. schlechtem Zeitverhalten), während Bandpass-Boxen mit einem weiteren Übertragungsbereich (niedrige Güte !) i.d.R. "sauberer" und "trockener" klingen - dafür allerdings eine geringere Effizienz besitzen.

5. Trichterlautsprecher-Boxen

Trichterlautsprecher (auch Hornlautsprecher) bieten von allen Lautsprechergehäuseformen die höchste Effizienz und ermöglichen bei entsprechenden Abmessungen sogar eine kontrollierte Richtwirkung bei der Schallabstrahlung. Trichterlautsprechersysteme für den Bassbereich benötigen jedoch gigantische Gehäuseabmessungen und kommen daher in kompromisslosen (großen !) Ausführungen nur für spezielle Anwendungen in Betracht.

Hornlautsprecher gibt es schon recht lange. Als zu Beginn der Tonfilmzeit noch keine leistungsfähigen Verstärker zur Verfügung standen, hatten Kinobetreiber zu (oftmals sehr großen ...) Hornsystemen keine Alternative. Aus dieser Zeit stammen u.a. auch die sogenannten Tractrix-Hörner.

Bei einem "typischen" Trichterlautsprecher befindet sich an der Rückseite des Lautsprechers eine geschlossene Kammer. Ohne Trichter liegt die Resonanzfrequenz des Lautsprechers mit der Rückkammer "irgendwo mitten" im Übertragungsbereich (d.h. nicht am unteren Ende wie z.B. bei einer geschlossenen Box !).

Vor der Membran befindet sich eine Kammer mit einer Öffnung, an die der Trichter befestigt ist. Die vordere Kammer wird auch Druckkammer genannt und hat großen Einfluß auf die erzielbare Effizienz (wegen dem Grad der Schnelletransformation !), ihr Luftvolumen dann auf die obere Grenzfrequenz.

Die hohe Effizienz eines solchen Systems kommt u.a. dadurch zustande, daß die Luft aufgrund der grösseren Abstrahlfläche weniger die Möglichkeit hat, "auszuweichen" (wie dies bei den vorgenannten Konstruktionen der Fall ist ...). Dies führt im Trichter zu einem Druckanstieg (... die Membran wird weniger ausgelenkt, produziert dadurch weniger Verzerrungen und kann insgesamt mehr Schall-Leistung abgeben !).

Mit großen Abstrahlflächen (d.h. großen Trichteraustrittsöffnungen) wird der Lautsprecher so stark bedämpft, daß die Resonanzfrequenz nahezu bedeutungslos wird bzw. (bei sehr großen Hörnern oder Hornstacks) fast ganz verschwindet.

Die Anforderungen an geeignete Lautsprecher sind sehr hoch: Der Antrieb sollte recht stark sein - entsprechend hoch sollte auch die Stabilität der verwendeten Membran sein.

Durch den Betrieb eines Basshorns auf dem Boden wird die benötigte Abstrahlfläche geringer, weil der Boden den Schall i.d.R. nicht "durchläßt" (... und der am Boden reflektierte Schall addiert sich mit dem Direktschall).

Wenn man das Basshorn auch noch an eine Wand stellt, kann die benötigte Fläche weiter verringert werden ... die "Krönung" wäre dann die Platzierung in einer Raumecke (... wer kennt es nicht, das berühmte Klipsch-Horn ?).

6. URPS (under resonance principle subwoofer)

Bei diesem System wird eine geschlossene Box unterhalb ihrer Resonanzfrequenz betrieben.

Da die Effizienz (und damit der Wiedergabefrequenzverlauf) einer geschlossenen Box unterhalb ihrer Resonanzfrequenz stark abfällt (-12 dB pro Oktave !), muß eine solche Box für eine gleichmässige Wiedergabe mit Filtern entzerrt werden. Hierzu werden die tiefen Frequenzen entsprechend angehoben.

Es wird erheblich mehr Verstärkerleistung als bei einer normalen geschlossenen Box (und erst recht im Vergleich zu Bassreflexsystemen) benötigt.

Wieso dann URPS?

Da tief abgestimmte geschlossene Bassboxen, Bassreflex- und Bandpassboxen im Bereich ihrer Eigenfrequenz im Zeitverhalten schlechter als vergleichbare Systeme mit einer weniger tiefen Abstimmung abschneiden, soll durch den Betrieb eines Lautsprechersystems UNTERHALB seiner Resonanzfrequenz (in einem geschlossenen Gehäuse !) das Zeitverhalten verbessert werden.

Es gibt zahlreiche Versuche mit diesem Prinzip (besonders im HiFi-Selbstbaubereich). Wer sich für sowas interessiert, wird im Internet schnell fündig.

Es gibt Befürworter, die auf dieses Prinzip "schwören" ... aber es gibt auch kritische Stimmen, die mit dem erzielbaren Klangergebnis ihres "URPS" (hohe Klirranteile, geringere Chassislebensdauer) weniger zufrieden waren.

7. "Quasi"-URPS

Beim "Quasi"-URPS werden sehr viele einzelne URPS-Systeme zusammen betrieben, um eine größere Abstrahlfläche (ähnlich wie bei einem Hornlautsprecher mit großer Schallaustrittsöffnung !) zu erzielen.

Ähnlich wie bei Trichterlautsprechern wird beim "Quasi"-URPS durch die Vergrößerung der wirksamen Abstrahlfläche eine größere Bedämpfung der einzelnen Lautsprecher erzielt.

Wird durch den Einsatz sehr vieler Einzellautsprecher eine mit großen Hörnern vergleichbare Gesamtabstrahlfläche erzielt, wird die Resonanzfrequenz jedes Einzellautsprechers - wie bei großen Hörnern - zunehmend bedeutungsloser.

Die Anforderungen an die verwendeten Lautsprecher sind - ähnlich wie bei grossen Hornsystemen - entsprechend hoch. Und da für die Wiedergabe tiefer Frequenzen große Abstrahlflächen und speziell beim "Quasi"-URPS sehr viele Chassis benötigt werden, sind die Materialkosten für ein solches System extrem hoch (was nur einer der Gründe für die mangelnde Verbreitung sein dürfte).

Da die Wiedergabe (anders als beim klassischen URPS) nicht mehr unterhalb der Resonanzfrequenz (die bei einer SEHR GROSSEN Anzahl von Lautsprechern fast bedeutungslos wird ...) stattfindet - ist der "Quasi"-URPS akustisch betrachtet gar kein URPS mehr, sondern eher ein "Horn ohne Trichter" und OHNE Druckkammer.

"Quasi-URPSe" werden als großflächige Bassarrays für gewisse Musikgenres

eingesetzt und ermöglichen bei großen Strahlerflächen und geringeren Hörabständen (einige Meter - d.h. im Bereich einer nahezu ebenen Wellenfront !) die Wiedergabe tiefer Frequenzen mit sehr hohen Abhörpegeln.

Da die Wiedergabe auf den Frequenzbereich bis etwa von 80 ... 100 Hz eingeschränkt ist (... bei großen Abstrahlflächen: die Bedämpfung steigt mit zunehmender Frequenz stark an ... bei kleinen Abstrahlflächen: die Resonanzfrequenz (oft um 100 ... 120 Hz) wird ungenügend bedämpft, wodurch die recht hohe Systemgüte aufgrund der kleinen Einbauvolumina klanglich "zuschlägt"), werden für Musikübertragungen recht große und leistungsfähige Mittelhochtonsysteme benötigt (d.h. tiefe aktive Trennung notwendig).

Die Resonanzfrequenz könnte zwar prinzipiell durch Verkleinern des Einbauvolumens vergrößert werden. Leider führt dies jedoch auch zu einer Vergrößerung der Federkraft (Anm.: durch die Federwirkung der Luft im Gehäuse), einer noch höheren Güte und zu einer geringeren Effizienz mit gleichzeitig negativen Auswirkungen auf den erzielbaren Maximalpegel (und der Belastung der Lautsprecher).

8. Mischformen - z.B. Hybridbasshörner

Um eine hohe Effizienz bei vergleichsweise geringen Gehäusegrößen zu erzielen, wird an Mischformen (bei PA-Systemen vorwiegend kombinierte Horn- und Bassreflex-Systeme) gearbeitet.

Solche Systeme lassen sich aufgrund ihrer Komplexität nicht einfach berechnen. Es gibt einige passabel funktionierende und auch weniger gelungene Entwicklungen, die dann mit den "passenden" Verkaufsargumenten (und digitalen Controllern) trotzdem eine gewisse Verbreitung finden.

Hybride Bass-Systeme gibt es schon recht lange: Schon das "Voice-of-Theatre" und das in den 80er Jahren verbreitete "W-Bin" waren Hybridsysteme der "ersten Generation".

8.1. Hybride Systeme der "ersten Generation"

Die ersten - halbwegs passablen - Mischkonstruktionen waren Hornlautsprecher, bei denen die (gegenüber "klassischen" Hörnern grössere ...) Rückkammer hinter dem Lautsprecher mit einer Öffnung versehen wurde, die dann direkt in den Raum abstrahlte.

Bei sehr tiefen Frequenzen (Bassreflexprinzip !) führte dies zwar zu einem akustischen Kurzschluß, aber im Bereich der Abstimmfrequenz konnte die Effizienz nicht selten erheblich verbessert werden.

Der Übertragungsbereich war oft sehr wellig und mußte durch den Einsatz von Equalizern häufig "glattgebügelt" werden.

8.2. Hybride Systeme der "zweiten Generation"

Bei neueren Konstruktionen befindet sich der Basslautsprecher nicht unbedingt am Trichteranfang (d.h. Trichterhals), sondern "irgendwo" im Trichter. Bei einer geschickten Auslegung des Trichters (... der nur teilweise wie eine Bassreflexöffnung wirkt ...) überlagern sich die Schallwellen so, daß eine relativ breitbandige Verstärkung auftritt.

Bei diesen - neueren - Konstruktionen ist der nutzbare Frequenzbereich häufig ausgedehnter als z.B. bei einer Bandpass-Box und es wird oft eine beachtliche Effizienz bei moderaten Gehäusegrößen erzielt.

Wie bei einer Bassreflex-Box sollte der Übertragungsbereich unten begrenzt werden. Da viele professionelle Endstufen heute glücklicherweise mit schaltbaren Subsonic-Filtern (30 ... 50 Hz) ausgestattet sind, kann der Lautsprecher einer Basshybrid-Box so ausreichend vor einem akustischen Kurzschluß geschützt werden.

9. Compound-Systeme

Zwei gleiche Lautsprecher werden - angeordnet wie ein belegtes Sandwich - in einer Box zusammen betrieben. Eine solche Anordnung verringert bei gleichem Übertragungsbereich das benötigte Gehäusevolumen auf fast die Hälfte - allerdings mit einer um ca. 3 dB geringere Effizienz.

Funktionsweise: Bei einem Compoundsystem wird aus zwei identischen Lautsprecher akustisch gesehen "ein neuer" Lautsprecher "gemacht", der die gleiche Resonanzfrequenz und Güte wie jeder Einzellautsprecher besitzt. Aber: Das Äquivalentvolumen (V_{as}) wird (auf Kosten der Effizienz !) halbiert.

Compound-Systeme werden häufig in Bandpass und Bassreflex-Systemen verwendet, um die benötigte Gehäusegröße zu verringern. Ebenso wäre aber auch der Einsatz in geschlossenen Systemen denkbar.