

SUBWOOFERKISTENBAU

von Klaus Methner

Dieser Artikel soll Ihnen in kompakter Form Hinweise zum "Kisten"bau mit handelsüblichen Subwoofer-Chassis (zu deutsch: Tieftöner) geben.

Da die meisten Subwoofer optimale Ergebnisse erst nach Einbau in passende Gehäuse liefern, diese Boxen aber nur selten als fertige Kisten zu kaufen sind, ist der Anwender darauf angewiesen, hier selbst Hand anzulegen. Die wenigen erhältlichen Fertiggehäuse sind meist zu klein, was auf nahezu alle "Subtubes", also Röhren mit Durchmessern kaum über dem Chassismaß, zutrifft, oder instabil und nicht genau passend. Lediglich einige neue Lösungen, wie die maßgeschneiderten "Anti-Chaos"-Gehäuse sind mit akustisch passenden Subwoofern empfehlenswert. Selbstgebaute Boxen bieten aber den Vorteil, die eigenen Wünsche nach Abmessungen und Klangqualität individuell erfüllen zu können. Auch kann man sie so gestalten, daß sie herausnehmbar sind - es könnte ja sein, daß man mal was anderes als den Baß zu transportieren hat.

Die seriösen Hersteller und Vertriebe liefern auf Anfrage Listen mit den Thiele-Small Parametern. Das sind die physikalischen Daten, die man braucht um die richtigen Gehäusegrößen und -arten berechnen zu können. Mit Hilfe guter Bücher (Vance-Dickason, Loudspeaker-Cookbook...) oder guter Software lassen sich dann die "Kisten" kalkulieren. Aber Vorsicht! Die Frequenzkurve, die das Programm Ihnen am Bildschirm zeigt, sieht ganz anders aus, als diejenige, die man dann im Auto messen wird. Wie kommt das? - Nun, je nach Einbauort im Auto steigert sich der wirksame Schalldruck mit einer Funktion von 4 bis 12 dB/Okt unterhalb von 200 Hz, ein Subwoofer mit beispielsweise 90 dB/Wm Schalldruck bei 100 Hz ist im Auto dann 94 bis 102 dB/Wm laut. Entsprechend tiefer ist dann auch die untere Grenzfrequenz. Den von Natur aus flachsten Abfall zu tiefen Frequenzen hin zeigen geschlossene Gehäuse (mit 12 dB/Okt); diese gewinnen durch die Auto-Einbaureflexionen dann auch am deutlichsten in Richtung tieferer unterer Grenzfrequenz. Baßreflexboxen mit ca. 18dB/Okt Abfall und Bandpaßboxen mit 18 bis 24 dB/Okt Abfall legen entsprechend weniger Tiefbass zu. Folglich sollte man beim Kalkulieren am Computer diese Frequenzverzerrung mit hineindenken und eine entsprechend der vorgesehenen Aufstellung vorkorrigierte Kurve auf den Bildschirm zaubern. Als Hilfe rekalkuliert man einfach ein paar bekannt gute Bauvorschläge, dann sieht man, wie diese erfahrenen Entwickler es tun.

Solche fertigen Bauvorschläge gibt es auf Anfrage bei einigen (wenigen) Vertrieben. Damit spart man sich das lästige Selberrechnen. Der Autor hat solche Empfehlungslisten für Cerwin-Vega-Subwoofer bereits vor mehr als 4 Jahren veröffentlicht. Die haben aber einen Haken. Manchmal paßt die empfohlene Box gerade so *nicht* in den vorgesehenen Kofferraum rein - Sch... . Also doch selbst kalkulieren? Mitnichten! Gute Fachhändler und (der beste) Vertrieb bieten einen individuellen Kalkulationsservice an. Der berücksichtigt alle Anforderungen, wie Platzverhältnisse, elektrische Voraussetzungen und den persönlichen Klanggeschmack des Hörers. Dann kann man die eigene Arbeit darauf beschränken, das empfohlene Volumen in eine formschöne Kiste umzurechnen und nach eigener Zeichnung aufzubauen. Damit Sie dabei keine Fehler machen, sollten Sie die folgenden Zeilen gründlich durchlesen. Die nötigen Formeln zur Volumenberechnung unterschiedlich geformter Hohlkörper entnehmen Sie bitte Ihrer Formelsammlung, die sicher noch irgendwo in Ihren alten Matheunterlagen versteckt ist. Wie heißt's so schön? Wer Ordnung hält, ist nur zu faul zum Suchen. Oder: Nur das Genie überblickt das Chaos. Oder so ähnlich.

Allgemeine Hinweise zum Gehäusebau

Gehäusematerial

Leicht zu verarbeiten und sehr stabil ist MDF (mitteldichte Faserplatte). Bei Systemen mit sehr hohem erreichbarem Gesamtschalldruck (über 115 dB) sollte man Wandstärken von mindestens 25 mm verwenden. Leisere Boxen kommen auch mit 19 mm aus. Große Wandflächen sollte man in jedem Fall mittels hochkant aufgeleimter Leisten versteifen. Deren Volumenverdrängung darf aber bei der Gehäuseauslegung nicht vergessen werden. Genauso stabil, leichter, aber splitternd ist Birke-Multiplex-Sperrholz. Nur sehr erfahrene Profis sollten sich an Gehäuse aus GFK (Glasfasermatten) wagen, die, im Sandwich-Aufbau, sehr leichte

ausreichend stabile Gehäuse ermöglichen, die zudem durch beliebige Form eine optimale Bauraumausnutzung bieten. Die Holzbretter müssen luftdicht verleimt werden (üblicher Holz-Weißleim). Schrauben braucht man, wenn überhaupt, nur als Montage(press)hilfe. Falls die Kiste später herausnehmbar sein sollte, kalkulieren Sie vorher das Gesamtgewicht und sehen Sie Griffe oder Griffmulden vor. Sorgen Sie für stabile Befestigung an der Fahrzeugkarosserie, damit Sie im Un-Falle keinen Tiefflieger im Auto haben.

Volumenauslegung

Die in den Kalkulationprogrammen herauskommenden Volumina sind Netto-Werte! Dazu müssen Sie noch die Luftverdrängung der Bauteile (Subwoofer, Rohre, Versteifungen) rechnen, die sich im betreffenden Gehäuse befinden werden. Die Verdrängung jedes Subwoofers wird Ihnen der Vertrieb sicher nennen können. Die Rohre werden so betrachtet, als wären sie massiv. Folglich rechnet man deren Außendurchmesser zum Quadrat, multipliziert dies mit 3,14, teilt das Ergebnis durch 4 und multipliziert dies nun mit der Rohrlänge (siehe auch die besagte Formelsammlung). Hat man die Maße in Dezimetern eingegeben, bekommt man direkt die Verdrängung in Litern heraus.

Gehäusedämmung

Belüftete Gehäuse, also die, aus denen ein Rohr oder Kanal herausführt, werden mit Noppenschaumstoffmatten ausgekleidet, die man an 3 der 6 Innenwände klebt oder tackert. NICHT bedämmt werden die Wände, durch die ein Subwoofer oder ein Rohr (Kanal) führen. Geschlossene Gehäuse werden locker, aber vollständig mit Mineralfaserwolle (Rockwool...) gefüllt. Bitte nicht direkt berühren (Handschuhe) oder einatmen. Nicht ganz so effektiv, aber gesünder, ist Polyesterwatte. Schafwolle macht in der Subwooferbox keinen Sinn. Eine Bedämpfung der Gehäusewände mit Bitumenplatten ist unsinnig, da diese nur Bewegung bedämpfen können, die in unserem stabilen Gehäuse gar nicht existiert.

Montage der Komponenten

Die Rohre verklebt man. Schnell geht Heißkleber, der aber bei niedrigen Temperaturen (Im Winter) brechen kann. Silikonkautschuk haftet an manchen Kunststoffen schlecht. Alleskleber geht noch am besten. Die Subwoofer schraubt man fest. Ein Streifen Tesa-Moll (o.äh.) unter dem Montageflansch sorgt für Dichtheit. Spaxschrauben halten in MDF gut, wenn man sie so vorbohrt, daß die Schraube beim Festdrehen knirscht. Perfektionisten verwenden Einschlagmuttern und Schrauben mit metrischem (M5) Gewinde. Diese Muttern sollte man aber vor dem Zusammenleimen (von innen) in die passend vorgebohrten Befestigungslöcher schlagen. Auch die Anschlußterminals müssen dicht verschraubt werden. Denken Sie dran: Jede Undichtigkeit und jede Wandverbiegung aufgrund mangelnder Steifigkeit nimmt Ihnen Tiefbaß weg! Bei Bandpaßboxen muß man eine Wand vorsehen, die abnehmbar bleibt, damit man den Sub (de-)montieren kann. Alle 10 cm eine Schraube und weiches Dichtband tun den Job. Übrigens: Der Lautspecher dient nur als Schablone zum Anzeichnen der Bohrlöcher, nicht selbst als Bohrschablone. Mit Löchern in Membran oder Sicke klingt er dann doch etwas seltsam!

Oberflächen, Gitter, Rohre

Im Fachhandel gibt es Filzmatten und Kunstleder in verschiedenen Farben zu kaufen, die mit Sprühkleber aufgeklebt werden. Sie sind ausreichend dehnbar, um an Ecken keine Falten zu werfen. Diese Ecken sollten unbedingt leicht gerundet werden, bevor Sie etwas draufkleben. Sonst besteht Gefahr, daß sie sich später häßlich durch den Bezug durchstoßen. Holz, auch MDF, sollte mittels Tiefengrund zuerst abgesperrt werden. Dann hält der Kleber besser. Autolack als Oberfläche ist nur schlecht geeignet, da er leicht abblättert. Robust und Fehler der Oberfläche gut ausgleichend ist Kräuselack, genannt Fleckstone. Den gibt's im Fachhandel in Sprühdosen und in vielen verschiedenen Farben zu kaufen. Lackieren Sie bitte vor Montage des Subwoofers. Eine Fleckstone-Beschichtung der Lautsprechermembran verändert den Klang sicher nicht zum Guten!

Gitter sollten stabil und klapperfrei sein. Und dabei einen freien Lochquerschnitt besitzen, der nicht kleiner ist als die Membranfläche des Subwoofers. Sonst wirken sie als Bremse und verursachen unschöne Nebengeräusche. Im Zubehörhandel viele Gitter in den gängigen Durchmessern zu kaufen. Eine Stoffblende

sieht zwar dezent aus, schützt aber nicht vor auftreffenden Gegenständen. Sie sollte daher wenigstens mit feinmaschigem Maschendraht unterbaut werden. Achten Sie beim Anbringen der Gitter auch darauf, daß sich die Membran incl. der halben Sicke gegenüber der Ruheposition noch ein ganzes Stück nach draußen bewegen kann. Sie darf dann nicht an irgendwelche Teile anschlagen. Reflexrohre dürfen nicht abgedeckt werden. Die dort herrschenden sehr hohen Luftgeschwindigkeiten beantworten jedes Teil in der Nähe der Rohrmündung mit häßlichen Nebengeräuschen. Im Abstand des Rohrdurchmessers sollte sich daher nichts in der Nähe beider Rohrmündungen (innen wie außen) befinden.

Als Reflexrohr kann man im Prinzip jeden runden, ovalen, recht- oder sonstwieeckigen Kanal verwenden, den man kriegt oder bauen kann. Er muß nur formstabil sein und in der Box möglichst zentral münden. Und den richtigen Querschnitt besitzen. Manche Rohre sind leicht konisch. Dann zählt der kleinste Durchmesser. In den Bauvorschlägen sind immer die Innendurchmesser runder Reflexrohre genannt. Sie können bei gleicher Fläche aber auch andere Querschnittsformen verwenden. Billig und leicht zu bekommen sind Installationsrohre. Dafür gibt's auch Kniestücke, auf deren Hilfe man in engen Boxen kaum verzichten kann. Die dann wirksame Länge des Rohrs ist die kürzeste Innenlänge (entlang der Kniekehle mit einem Schneidermaß messen). Flexibler in der Gestaltung ist man mit Aluflexrohren aus der Klimatechnik. Aber die muß man fixieren und entklappern. Als Formel für den Mindestquerschnitt eines Rohres für eine Baßreflexbox gilt: \emptyset des Subs in Zoll gleich \emptyset des Rohrs. Bandpaßboxen wollen noch größere Durchmesser, sonst klingen sie lahm. Kleine Gehäuse benötigen für eine ausreichend tiefe Abstimmung oft dann sehr lange Kanäle. Also muß man dünnere nehmen, die dann bei gleicher Abstimmung entsprechend kürzer ausfallen können. Damit die aber keine häßlichen Turbulenzen verursachen, müssen deren Enden innen und außen gut abgerundet werden. Vorbild: Ansaugstutzen von Rennmotoren. Die Aeroports sind zwar teuer, aber machen genau das.

Gehäusebauarten

Anhängend sind einige Skizzen der üblichen Gehäuseprinzipien gezeigt. Auf das allereinfachste, den "free-air"-Einbau möchte ich erst gar nicht eingehen. Ich bin kein Freund von Guillotine-artigen Soundboards, denn ich brauche meinen Kopf noch ein paar Tage - schließlich sind da meine Ohren dran!

Das einfachste und zugleich für den audiophilen Hörer auch empfehlenswerteste Gehäuse ist das **geschlossene (C)**. Die Theorie empfiehlt eine Auslegung auf Einbaugüten von $Q_{tc} = 0,7$. Amerikaner arbeiten oft mit Güten um 1, um Ihren etwas molligeren, aber nicht ganz so präzisen Baßklang zu verwirklichen. Da der Autoinnenraum durch frühe Reflexionen einen Effekt macht, als hätte man die Güte auf zu hohe Werte hin ausgelegt, empfehle ich für Auto-Subwoofer eine Grundauslegung auf 0,55 bis 0,65. Besonders dann, wenn die Kiste in Schrägheckautos weit hinten nahe der Heckscheibe untergebracht wird.

Bohrt man nun ein genau definiertes Loch in diese Kiste und klebt noch ein Stück Rohr dahinter, so hat man eine **Baßreflexbox (BR)**. Dieses Prinzip nutzt die Hohlraumresonanz des geöffneten Gehäuses zur Verstärkung bestimmter Baßfrequenzen. Im Kleinen weiß jeder, wie das funktioniert - er braucht nur in eine Flasche zu blasen (tüüüt). Dieser Ton ist zu hoch für den Baßfan? Nun ja, er braucht nur eine entsprechend große Flasche und viel Puste, dann wird der schon tiefer. Zum Beispiel fährt er mit seinem Auto bei geschlossenen Fenstern aber ganz geöffnetem Schiebedach. Dann hört er bei der richtigen Geschwindigkeit (Puste), wie ätzend eine ganz tiefe Hohlraumresonanz klingen kann (wubb-bubb-bubb). Dann doch lieber eine normal große Baßreflexbox (buuum). BR-Boxen haben aber einen Nachteil: Unterhalb Ihrer Abstimmfrequenz bieten sie dem Tieftöner keine unterstützende Luftfederhilfe. Daher sind sie bei ganz tiefen Frequenzen mechanisch schnell überlastet. Dagegen hilft nur ein Subsonicfilter.

Klebt man nun eine geschlossene und eine Baßreflexbox so zusammen, daß der Subwoofer dazwischen sitzt und das Rohr aus der einen Kammer nach draußen zeigt, habe ich die einfachste Form des **Bandpaß**prinzips verwirklicht. Die eine Seite ist geschlossen (hohe mech. Belastbarkeit), die andere gibt den Schall nach draußen ab. Sie läßt dabei nur ein ganz bestimmtes Frequenz**band** passieren. Sie filtert alle Frequenzen oberhalb einer bestimmten Grenze weg. Wie praktisch. Da kann man sich ja die Frequenz-weiche sparen! Nicht ganz, aber man braucht sie nicht so steilflankig zu wählen. Der Single-Reflex-Bandpaß (**MBP**), also der genannte mit einer belüfteten Kammer und einer geschlossenen, filtert mit einer Flankensteilheit von 12 dB/Okt. Das heißt, bei einer gewählten oberen Grenze von 100 Hz ist die Frequenz 200 Hz gerade mal 12 dB leiser. Bei 160 bis 180 Hz bildet sich aber in PKWs eine störend dröhnende Stehwelle aus, die möglichst nicht angeregt werden sollte. Also doch noch steiler filtern! Mit 18 dB/Okt filtert das Doppel-Reflex-Bandpaß-Gehäuse (**DBP**). Dort ist die zweite Kammer ebenfalls mit einem Rohr mit der Außenwelt verbunden. Beide

Kammern sind auf unterschiedliche hohe Resonanzen abgestimmt. Aber nun hat man, wie schon bei BR, das Problem möglicher mechanischer Überlastung im subsonischen Bereich. Eine Sonderform des MBP ist das Serien-Bandpaß-Gehäuse (**SBP**). Hier zeigt das zweite Rohr nicht nach draußen, sondern verbindet beide Kammern miteinander, von denen nur die eine nach draußen belüftet ist. Die Flanken des Bandpasses fallen auch mit 12 dB/Okt. ab. Durch die Kopplung der beiden Gehäuse erreicht man aber eine sehr viel tiefer hinab reichende Baßwiedergabe bzw. bei gleicher Baßtiefe kann man mit kleineren Gehäusevolumen auskommen. Allerdings oft auf Kosten des Wirkungsgrades. Auch besteht die o.g. subsonische Empfindlichkeit.

Alle anderen Gehäuse, die Sie irgendwo sehen, basieren auf den hier genannten und sind meist Kopplungen derer. Gerne werden z.B. zwei MBP-Kisten so gekoppelt, daß die geschlossenen Kammern beider MBPs zu einer gemeinsamen Kammer zusammengefaßt werden. Das ist eine mögliche Form des Drei-Kammer-Bandpasses, wie er beispielsweise beim mit Testreferenzen überhäuften C4-Fertigsubwoofer von Polk Audio Verwendung findet. Der hat aber noch eine andere Besonderheit aufzuweisen, die hier noch erläutert sei: das **Isobaric**-Prinzip. Es werden einfach zwei Woofer Gesicht auf Gesicht (Push-Pull) aufeinander geschraubt. Damit sind sie durch das zwischen ihren Membranen eingeschlossene kleine Luftvolumen mechanisch aneinander gekoppelt und helfen sich gegenseitig (richtige Polung vorausgesetzt). Man kann sie auch mit einem speziellen kleinen Zwischengehäuse hintereinander koppeln, das ist aber aufwendiger. Das Isobaric-Prinzip hat den selben Effekt, als hätte man *einen* Subwoofer mit der doppelten Membranmasse und doppelt so starkem Antrieb. Im Computerprogramm halbiert man einfach Vas und Re und rechnet weiter; schon kriegt man korrekte Ergebnisse. Manche Hersteller (Kicker) bauen das neuerdings gleich seienmäßig in spezielle Subwoofermodelle ein, die haben dann untypisch schwere Membrangewichte und recht ordentliche Antriebe mit deftigen Magneten und engen Schwingspalten. Vorteil: wie beim SBP-Prinzip kleineres Gehäuse-erfordernis aber reduzierter Wirkungsgrad. Durch die dickere (doppelte) Membran kann außerdem der im Gehäuseinneren unserer Box umhergeisternde reflektierte Schall nicht so leicht von draußen als Verzerrung gehört werden. Gnadenlos zur Perfektion getrieben hat das Cerwin-Vega mit den Stroker-Subwoofern. Immerhin Referenzklasse bei Car&HiFi und HiFi-Mobil.

Und nun: Viel Spaß bei Konstruktion und Bau. --- Ach ja, ...und beim HÖREN

© by KoMET 495