



BASSINFO 4

WIE BASST'S AM BESTEN?

INHALT:

GRUNDLAGEN PROBLEMATIK VERLUSTE

- Türverkleidungen
- Gehäuse
- Lautsprecher

SCHALLDRUCKGEWINN

MITTELTONVERZERRUNGEN VON SUBWOOFERN KLANGBEEINFLUSSUNG VON SUBWOOFERN

- Dämmstoff
- Gesamtdämpfung
- Dämpfungsfaktor
- Aufstellung
- Geheimtips

WIE BASST'S AM BESTEN?

Nach unseren ersten Baßinfos, die in den Jahren 1991 bis 93 erschienen sind, dem 92er Info über die „übrigen“ Lautsprecher im Auto und dem 95er Info über Passivweichtechnik nun ein etwas mehr in's Detail gehendes Info über die Eigenarten, wie unterschiedliche Randbedingungen die Baßwiedergabe im Auto beeinflussen können.

Daß die Baßwiedergabe im Auto sich von der Ihrer Heimplautsprecher gründlich unterscheidet, haben Sie, lieber Car Audio Fan, sicher auch schon gemerkt. Sie haben sicherlich auch schon einige Schriften über Car Audio gelesen, seien es Artikel in den Fachzeitschriften, Bücher oder meine o. g. Infos. Ich gehe auch mal davon aus, daß Sie einen PC besitzen und schon versucht haben, mit Hilfe diverser Boxenkalkulationsprogramme Ihren Idealbaß zu konstruieren. Warum's denn dann doch nicht immer so klingt wie gewünscht, versuche ich Ihnen in dieser Info zu erklären. Die Grundlagen werde ich hier nur kurz streifen, da (hoffentlich) bekannt.

Grundlagen

Ein Lautsprecher produziert Schall, indem er Luft verdrängt und in alternierende Bewegungen versetzt, die ihrerseits Ihr Trommel- (oder Bauch-)fell zum Schwingen bringen. Schwingt's weniger als 100 mal in der Sekunde, nennt man das „Baß“. Gemeint ist, physikalisch ausgedrückt, das Frequenzspektrum unter 100 Hertz [Hz].

Die Membran Ihres Lautsprechers wackelt; sie bewegt sich (möglichst kolbenförmig) vor und zurück. Damit regt sie die umgebende Luft entsprechend (pulsierend) an. Würde sie beispielsweise genau eine Frequenz von 50 Hz abstrahlen, wird die Luft 50 mal in der Sekunde weggeschoben und 50 mal wieder angesaugt. D. h., dieselben Luftmoleküle bekommen alle 1/50 sec. einmal in den Hintern getreten und tun dasselbe rundum mit all ihren Nachbarmolekülen. Die weichen entsprechend aus und geben diese Bewegung immer weiter. Nicht nur nach vorn von der Lautsprechermembran weg,

sondern auch zur Seite und, über Umwege, auch nach hinten. Das nennt der Physiker „kugelförmige Schallausbreitung“.

Genau diesem Umstand haben wir es auch zu verdanken, daß unser Lautsprecher ein Gehäuse braucht. Hat er keines, saugt die Membran-Rückseite nämlich die ganze vorn mühsam weggeschobene Luft hinten wieder an. Folge: Die Luft wird nur sinnlos hin- und hergeschaufelt, bewegt aber nicht unser Trommelfell \Rightarrow kein Schall. Aber - das stimmt nur halb.

Denn: Unsere faulen Luftmoleküle sind träge. Sie bewegen sich nicht unendlich schnell hin- und her. Denn sie haben eine, wenn auch geringe, Eigenmasse. Und Masse ist halt nunmal träge. Gell?

Stellen wir uns mal einen schmalen Korridor voll Luft vor, 344 Meter lang, ohne schallreflektierende Wände und an einem Ende sagt einer: „Depp!“ Dann hört der Andere am anderen Ende diese Liebkosung genau eine Sekunde später. Denn Schall bewegt sich bei normalem Luftdruck und Zimmertemperatur mit 344 m/sec fort. Nicht schneller, aber (ohne bremsende Dämmstoffe) auch nicht langsamer. Ein Ton von 50 Hz vibriert 50 mal pro Sekunde. Einer von 15000 Hz aber 15000 mal pro Sekunde. Deshalb bremsen unsere „dicke“ Luft hohe Frequenzen auch stärker als tiefe. Daher hört man Manni's Subwoofer auch schon 3 Blocks weit kommen, obwohl direkt am Auto die Hochtöner genauso laut plärren.

Wenn man sich jetzt mal einen Knoten ins Hirn denkt und sich das Auf- und Abschwingen der Luftmoleküle bildlich vorstellt (gedanklich einen Bleistift dauernd hoch- und runtermalt) und dann die Zeit laufen läßt (also das Papier unter dem wackelnden Stift langsam und gleichmäßig wegzieht), dann sieht man auf seinem gedachten Zettel eine (regel-)mäßige Wellenlinie. Wenn man schön gemalt hat, ist diese sinusförmig. Wenn man seinen Stift langsam bewegt hat (niedrige Frequenz), sind diese Sinüsse (ich weiß, jetzt schüttelt sich das beleidigte Mathematikerohr) langgezogen mit sanftem Schwung. Wenn man sehr schnell

gewackelt hat (hohe Frequenz), sind die Abstände von Berg zu Berg kürzer. Solch einen Abstand von Bergspitze zu Bergspitze nennt man eine Periodendauer oder auch *eine* Wellenlänge. Diese Länge kann man berechnen, indem man die Schallgeschwindigkeit (344 m/sec) durch die Frequenz [1/sec] teilt.

Für 50 Hz bedeutet das:

$$\frac{344 \text{ m sec}}{50 \text{ sec}} = 6,88 \text{ m}$$

für 15000 Hz aber nur 0,022933 m, also 2,3 cm. Da die Luft, die von der Membranvorderseite weggestoßen wird, aber (ohne Schallwand) mindestens 2 mal den Membranradius (vorn entlang nach außen über den Korbrand hinweg und hinten wieder zurück) entlang rennen muß, ehe sie hinten wieder angesaugt wird, können Frequenzen, deren Wellenlänge kürzer ist als der Membrandurchmesser (2 mal Radius), dies nicht tun und wir hören sie denn dann doch auch ohne Box. Bei einem Lautsprecherdurchmesser von 30 cm (=0,3 m) ist diese Frequenz $344/0,3 = 1147$ Hz. Ab dieser Frequenz macht unser 12 Zoll Subwoofer also auch ohne Box den vollen Schalldruck. Und bei der halben Frequenz (eine Oktav tiefer) noch halb soviel (3 dB weniger). Leider viel zu hoch, um das noch als Baß bezeichnen zu können. Also müssen wir der Luft einen noch weiteren Umweg bauen. Soundboard! So eines dieser (Kopf-ab)-Soundboards ist ca. 100 x 75 cm groß. Mittig montiert kriegt unser Sub also unter 459 (-3 dB = 229) Hz keine Luft mehr ans Ohr. Es sei denn, unser Soundboard ist rundum perfekt abgedichtet. Dann wäre es aber schon Teil einer geschlossenen Box, wenn auch nicht gerade sehr stabil. Klar, bei $229/2 = 114,5$ Hz wäre noch $\frac{1}{4}$ Schalldruck da, den wir durch entsprechend (4fach) mehr Verstärkerleistung ausgleichen könnten. Aber mehr Power heißt auch: mehr Membranhub. Und da ist irgendwann mal Schluß. Wenn der Sub für „free-air“ nicht gebaut ist, geht er somit kaputt. Ist er dafür gebaut, also mit elektrischer oder mechanischer Hubbegrenzung, setzt er ab einer bestimmten Eingangsleistung diese nicht mehr in weiteren Schalldruck um, sondern haut dann nur noch sinnlos in die Begrenzung. Free-Air Soundboard- Montage ohne perfekte Abdichtung geht also nie besonders tief und laut. Sprich: in die Hose.

Eine mechanische Hubbegrenzung ist normalerweise immer schon seitens des Subwoofer-

herstellers eingebaut: Entweder der Schwingpulenträger klappert an die Rückplatte an oder die Randeinspannung (Sicke) streckt sich mit einem schnalzenden Geräusch. Beides hört sich nicht nur unschön an, sondern führt auf Dauer zur Zerstörung. In ungünstigen Fällen kann man damit auch die Prägung der Zentrierspinne plastisch verformen (strecken), was sich dann so bemerkbar macht, daß die Membran in Ruhestellung nach innen (zum Magneten) versetzt hängt und beim Vorwärts-bewegen mit den Fingern die Spinne einen leichten mechanischen Widerstand und ein leises Blobb-Geräusch zeigt. Die beste mechanische Hubbegrenzung ist das Polster eingeschlossener Luft in einem geschlossenen Gehäuse. Das wirkt gleichmäßig auf die gesamte Membranrückseite und verursacht keine Defekte.

Man kann auch elektrisch helfen. Da die arme Membran desto weiter auslenken muß, je tiefer die geforderte Frequenz ist, hilft ein elektrisches Hochpaßfilter, das die tiefsten Frequenzen vom Sub fernhält. Es filtert nicht schlagartig bei einer bestimmten Frequenz, sondern mit einer gewissen Flankensteilheit (siehe mein Info über Frequenzweichen). Typische Filter sind 2ter bis 4ter Ordnung, also Steilheiten von 12 bis 24 dB/Okt. D. h., bei einer Auslegung auf z.B. 40 Hz (-3 dB Punkt) filtert das Filter bei 20 Hz (1 Oktav tiefer) schon 15 bis 27 dB weg. Das entlastet unseren armen Sub ohne oder auch in belüfteten Gehäusen dann schon gewaltig! Man sollte Free-Air Subs mit HP-Filtern versehen, deren Eckfrequenz in etwa in der Nähe deren Eigenfrequenz (Resonanz F_s) liegt. Dann klingen sie sauberer und können mechanisch weiter belastet werden. Wenn man bei einer Zapco AXI das Steckmodul wegläßt, dann filtert sie bei 40 Hz mit 18 dB/Okt. Ideal für die meisten 25er und 30er Free-Air Subs. Mit 50 Hz Modul dann für 20er Subs. Aber man klaut sich halt schon die allertiefsten Frequenzen. Und gerade unter 50 Hz hören wir mehr mit dem Bauch als mit dem Trommelfell. Und wahre Liebe geht bekanntlich durch den Magen. Oder?

Nun gibt's Spezialisten, die meinen - ganz schlaue - daß Tiefbaß-Wellenlängen gar nicht in den PKW-Innenraum hineinpassen und somit Tiefbaß im Auto gar nicht möglich sei. Sicher, Stehwellen passen erst ab 120 bis 200 Hz ins Auto (siehe Baßinfo 1), also im „Boom“ Bereich. Aber Tiefbaß wird im Auto aufgrund reiner Luftkompression übertragen. Dazu braucht man umso mehr Leistung, gerade für die tiefsten Frequenzen, die unser Subwoofer produzieren soll. Beweis: Machen Sie mal bei voller

Baßdröhnung die beiden Türen auf: Baßdruck und -tiefe ändern sich deutlich! Denn jetzt kann die Luft plötzlich ausweichen. Aus genau diesem Grund sehen die bei SoundOffs gemessenen Frequenzgänge so aus, als könnten die Leute nie genug Baß kriegen, nämlich mit zu tiefen Frequenzen ansteigendem Verlauf. Aber das täuscht. Um im geschlossenen Auto realistisch klingende Baßpegel zu erzeugen, muß man unter 100 Hz mit 4 bis 8 dB/Okt. ansteigende Frequenzgänge zustandebringen. Und dafür brauchen unsere Subs Gehäuse.

Problematik:

Wie jeder weiß, gibt's geschlossene, Baß-reflex- und drei unterschiedliche Bandpaßgehäuse plus deren Kombinationen. Transmission Lines und Hörner passen nicht in PKW's und bleiben hier unbehandelt. Grundsätzlich ist das Ein- und Ausschwingverhalten des fertigen Subwoofers (in Kiste) in seinem Zusammenspiel mit Verstärker (Leistung und Dämpfung), Frequenzweiche (Flankensteilheit, Filtercharakteristik) und Fzg.-Innenraum zu bewerten. Klingt kompliziert. Isses auch. Deshalb hole ich auch so weit aus. Wenn Sie was nicht verstehen, lesen Sie nochmal von vorn und versuchen, sich das alles möglichst bildlich vorzustellen.

A] VERLUSTE

1) Türverkleidungen

Tür außenbleche mit Türverkleidungen sind ganz miese Lautsprechergehäuse. Sie sind unmöglich richtig steif zu bekommen, da das blöde Fenster ja noch hoch- und runtergehen muß. Und damit keine Innenverstrebung erlaubt. 3 Lagen GFK-Matten reichen leider auch nicht. Meist schiebt man damit die Eigenfrequenz der Türverkleidung in den Midbaß-bereich und als Ergebnis erhält man häßliche Verfärbungen. Aber ohne stabiles Gehäuse kriegt man den (Kick-)Baß nie richtig knackig.

Besser, man versucht die Resonanzen möglichst gut zu bedämpfen (Bitumenmatten) und durch Aufkleben von Masse zu tiefen Frequenzen unter 50 Hz zu schieben. Verstimmen durch bitumengekoppelte Metallplatten auf dem

Türblech (zum Sandwich) ist ideal. Aber irgendwann geben auch die stabilsten Türscharniere dem Ruf der Schwerkraft nach. Folglich rate ich grundsätzlich davon ab, Frequenzen unter 75 Hz durch Türlautsprecher wiedergeben zu wollen und die darüber dann auch nur über sehr steifflankige Hochpaßfilter.

2) Gehäuse

Logisch, Gehäuse müssen stabil sein. Deshalb nehmen Sie ja schon 19 mm MDF. Das reicht eigentlich auch. Aber: Große Flächen beulen trotzdem. Sie geben gegen ihre Eigensteifigkeit nach, da im Gehäuse bei großen Lautstärken gewaltige Luftdruckschwankungen herrschen. Da aber auch die Gehäusewände Eigenmasse und (Biegesteifigkeits-)Federhärte besitzen, haben sie ganz ausgeprägte Resonanzfrequenzen. Je härter das (homogene) Material, desto schmalbandig ausgeprägter und wahrscheinlich störend. Am besten, man versteift so brutal, daß die Eigenfrequenzen aller Seitenwände so weit nach oben im Frequenzspektrum wandern, daß sie vom Sub nicht mehr angeregt werden. Leicht gesagt. Aber, mach' ich die Wände dicker um sie steif zu kriegen, werden sie auch schwerer. Steif hebt, Masse senkt die Resonanz (was denn sonst?). Besser, man versteift möglichst leicht. Das geht mit hochkant aufgeleimten Leisten (System Wonder-Bra). Und mit Birke-Sperrholz (Multiplex) geht's besser als mit MDF. Perfekt, aber (sau-)teuer ist Buche-Multiplex.

Tip: Schleifen Sie MDF-Seitenflächen immer gut an, bevor Sie Stirnflächen draufleimen. Sonst gibt's schlechte Verbindungen. Wir haben mit einem Stroker schon mal so ein Gehäuse zerrissen.

Ein weiterer (und sogar besserer) Weg ist: verstimmen. Jede Fläche aus homogenem Material hat eine ganz ausgeprägte Resonanzspitze. Klopfen Sie mal drauf und Sie werden einen eindeutigen (hohlen) Ton hören. Klebt man zwei solcher Flächen mittles weichem, hochdämpfenden Material aufeinander und die beiden Einzelflächen hatten vorher um etwa ½ Oktav unterschiedlich liegende Resonanzen, so löschen die beiden sich dann gegenseitig praktisch aus. Anklopfen ergibt ein perfekt gedämpftes „totes Pck“. Das ist dann perfekt.

3) Lautsprecher

Genauso kann man auch die feststehenden Lautsprecherbauteile verstimmen um sie resonanzfrei zu bekommen. Das Resultat ist ein reineres, weniger nervös und verfärbt wirkendes Klangbild. Probieren Sie es mal mit diversen Lautspecherchassis aus: hängen Sie die Körbe an einem Faden oder Gummiband auf und klopfen Sie mit einem kleinen Schraubendreher leicht an den Korbrand. Klingt's wie eine oberbayrische Kuhglocke, haben Sie schlechte Karten. Dann wird Ihr fertiger Lautsprecher womöglich „lebendiger“ klingen, als er eigentlich sollte. Das wirkt sich besonders schlimm aus bei Mitteltönern.

Soweit zum Korb. Doch auch Membranen haben ein gewaltiges Eigenleben. Es gibt dicke, dünne, steife, weiche, schwere, leichte, gebogene und gerade; fast wie im richtigen Leben. Sie sind aus Zellulose (nackt, getränkt oder beschichtet), diversen Kunststoffen, Metallen oder Kombinationen davon. Sie werden vom Schwingspulenträger angetrieben und von der Sicke festgehalten. Außerdem bekommen sie von hinten den im Boxen-gehäuse reflektierten Schall wieder ab. Dies ertragen sie mit der nötigen Gelassenheit, wenn sie steif *und* hochdämpfend sind. Leider werden sie auf die Art auch recht schwer. Bei Subwoofern nicht allzu schlimm. Denn bei niedrigen Frequenzen stört die Massenträgheit weniger stark. Außerdem brauchen Subs mit großer bewegter Masse weniger Gehäuse-volumen für die gewollten tiefen Frequenzen. Aber, damit sie noch richtig dynamisch fetzen, brauchen sie dann sehr starke Magnet-antriebe. Wie sowas aussieht, wenn man es auf die Spitze treibt, sieht man am 12er Stroker. Leichte Membranen sparen also Magnetgröße, kosten aber Boxenvolumen. Daher ideal für Free-Air Subwoofer. Einen sehr guten Kompromis aus leichter Membran mit sehr hohem Wirkungsgrad aus trotzdem kleinen Gehäusen haben wir mit den MAX-Subs gefunden. Auch der Cerwin-Vega Stealth 12 S/D und die ESB-Subs gehören zu dieser Gattung.

Die VEGA-Subs zeigen hier, was verstimmen bringen kann. Klopfen Sie mal mit dem Fingerknöchel auf verschiedene Membranen. Es klingt auch hier perfekt „tot“.

Aber auch die Schwingspule und ihr Träger schwingen sich bereits resonanzbedingt zu Verzerrungen auf. Kapton als hochdämpfender (und hitzefester) Kunststoff ist hier ideal. Daher auch in diesbezüglich sehr sensiblen

Mitteltönern (Cerwin-Vega AI, SS) zu finden. Oder 4 statt 2 Lagen Kupferdraht als Schwingspule (VEGA, XL, AI). Oder, wie bei MAX, hochkant lückenlos gewickelter Flachdraht. Das dämpft ebenfalls Resonanzen. Solche Woofer zeigen, wenn man ihren ungefilterten Frequenzgang mißt, kaum zu den Mitten hin ansteigenden Schalldruckverlauf. Und auch gleichmäßig statt „zackig“ resonierend verlaufende Kurven. Das spart Filteraufwand (dazu später).

Doch alle unerwünschten Verzerrungen, sind sie nun durch resonierende Schwingspulen oder Körbe oder durch zu schwach dämpfende Membranen verursacht, werden spätestens an der Randeinspannung unterdrückt. Oder? Gut geht das mit den hochdämpfenden Sicken aus Schaumstoff. Moderne Schäume (Stealth, SS, VEGA) sind sogar UV-stabil. Textile Sicken werden vom Hersteller dämpfend beschichtet (Stroker, ESB). Gummisicken dämpfen weniger gut, sind aber sehr haltbar. In solchen Fällen muß man bei der Membrandämpfung mehr Aufwand betreiben (AI, MAX).

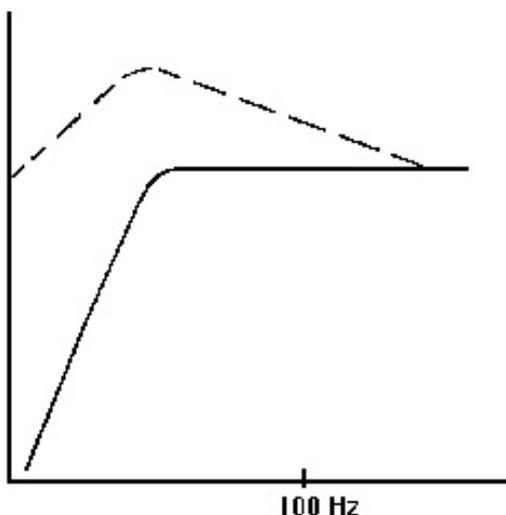
Ich habe ein schönes Experiment für Sie, das diese Zusammenhänge schön verdeutlicht: Fragen Sie mal einen Bekannten, er soll ein (Spring-)Seil an einem Ende festhalten. Sie nehmen das andere Ende des sanft durchhängenden Seils und regen durch kurzen Schwung aus Ihrem Ellbogen eine Welle an, die dann longitudinal (so heißt das echt!) dem Seil entlangwandert. Wenn die Ellbogen Ihres Partners locker sind, wird sich die Seilbewegung in seinen Armen totlaufen (falls er das Seil nicht fallen läßt). Versucht er aber mit voller Kraft beider Arme und Hände, sein Ende richtig festzuhalten, dann wird diese Welle reflektiert und wandert (zeitversetzt) dem Seil entlang zu Ihnen zurück und schüttelt an Ihrer Hand, obwohl Sie doch in diesem Moment eigentlich stillhalten wollten. Was will uns das zeigen? Sie sind die Schwingspule, das Seil die Membran und Ihr Partner die Sicke. Ist die Sicke sehr weich bzw. dämpfend, läuft sich die (Schall-)welle tot, wenn nicht, bewegt sie die Membran und Schwingspule kurz drauf noch-mals und erzeugt einen unerwünschten Ton, eine Verzerrung. Wäre das Seil in Bitumen getränkt (hochdämpfend) oder aus Stahl (steif), gäbe es auch weniger Verzerrungen.

Hier hilft unser Auto dem Subwoofer. Gut, aber auch schlecht.

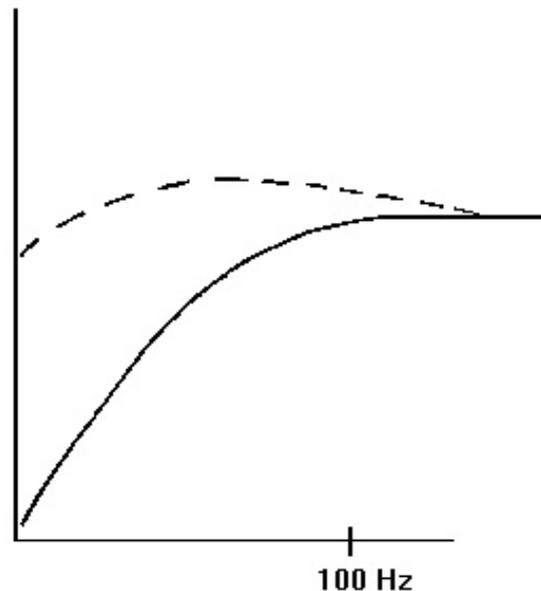
Wie wir wissen, breitet sich Schall kugelförmig aus, egal, in welcher Richtung unsere Membran sich bewegt. Auf feste Wände auftretende Schallwellen werden reflektiert. Wenn unsere Subwooferkiste frei in der Luft schweben könnte, würde sie ihren Schall unbeeinträchtigt von Reflexionen mit beispielsweise 87 dB von sich geben. Liegt sie aber auf dem Boden, wird die Hälfte des Schalls (nämlich die, die nach unten will) reflektiert und addiert sich zum Restschall. (+3 dB, ergibt 90 dB im Beispiel). Steht die Kiste am Boden vor einer hohen Wand, bringt das durch Rückwandreflexionen noch einen weiteren Gewinn von 3 dB (ergibt 93 dB). Setzen wir sie in eine Ecke mit 3 begrenzenden Wänden, kommen nochmal 3 dB dazu (macht 96 dB); das heißt, in einem solchen Fall steigert sich der Schalldruck um insgesamt 9 dB gegenüber der Freifeldabstrahlung. Dieser Effekt wirkt zu tiefen Frequenzen hin stärker als bei hohen. Im Auto kann man bei üblicher Kofferraumaufstellung im Schrägheckauto 6 bis 9 dB pro Oktav ab 200 Hz nach unten addieren. Kann der Subwoofer also bei 100 Hz laut Freifeld-Messung (entspr. Computer-simulation) 90 dB/Wm Wirkungsgrad, hat er im Auto bei 50 Hz 6 - 9 dB mehr und bei 25 Hz 12 - 18 dB mehr. Diese Korrektur vergessen die meisten Leute bei der Computersimulation und wundern sich dann über den nervenden „one-note“-Baß.

Siehe Skizze:

Falsch:



Richtig:



Diese frühen Reflexionen haben den klanglichen Effekt wie ein erhöhtes Q_t des eingebauten Lautsprechers. Und das ist der Nachteil, den man schon in der Berechnung mit einkalkulieren sollte. Man legt Auto-Subwoofer, die später so platziert werden sollen, daß sie einen starken Schalldruckgewinn erzeugen, mit ca. 0,25 kleineren Q_t -Werten aus, als für Heimboxen richtig wäre. Somit klingt eine geschlossene Box im Auto mit $Q_{tc} = 0,45$ genauso sauber, wie eine mit 0,7 im Wohnzimmer. „Amerikanisch weich“ klingt's im Auto dann schon ab ca 0,75.

C] MITTELTONVERZERRUNGEN VON SUBWOOFERN

Subs klingen sauber und nicht von hinten ortbar, wenn Frequenzen über 90 Hz wirklich vollkommen eliminiert werden. Wenn man sich gemessene Frequenzgänge von verschiedenen Baßlautsprechern ansieht, fällt auf, daß besonders solche mit relativ dünnen (leichten) Membranen geringer Eigendämpfung und mit 2- statt 4-lagigen Schwingspulen besonders starke Schalldruckanstiege hin zu den Mittelfrequenzen zeigen. Da aber das Auto durch seine Haupt-Stehwelle im Bereich von 120 - 200 Hz eh' zum Dröhnen neigt, sollte man diese Frequenz seitens des Subwoofers und anderer hinten angeordneter Lautsprecher möglichst nicht zu stark anregen. Dies kann man durch passende Auswahl und Gehäuse-abstimmung des Subwoofers und durch Equalizing oder

Auseinanderziehen der Übergangsfrequenzen von Sub zu Hecksystem erreichen.

Folglich sollte man für einen steilen Filterverlauf des Tiefpaßfilters vor'm Sub sorgen. Serien- und Singlereflex-Bandpaßboxen helfen da schon aufgrund Ihrer Charakteristik mit 12 dB/Okt mit Doppelreflex-Bandpässe mit 18 dB/Okt. Aber alle Bandpässe „kommen“ 1,5 bis 2 Oktaven darüber wieder mit Schalldruckanstiegen und würden ohne zusätzliche Tiefpaßfilter die stimmrelevanten Mitten um 300 bis 700 Hz verfärbt. Daher brauchen auch sie Filtersteilheiten von wenigstens 12 dB/Okt. Alle direkt abstrahlenden Subs (Free-Air, geschlossen, Baßreflex) neigen mehr oder weniger dazu, den Schalldruck mit wachsender Frequenz zu steigern, was unserer gewünschten Charakteristik entgegen wirkt. Je nach Auslegung der Parameter steigt die gemessene Schalldruckkurve mit 3 - 6 dB/Okt (Cerwin-Vega S, XL, Stroker) bis zu noch etwas höheren Werten (ESB-Subs). Nur die mit äußerst hohen inneren Dämpfungen konstruierten Subs, wie MAX und besonders AI und VEGA bleiben flach, bzw sinken sogar freiwillig ab. Überlagert man nun diese Eigenfunktionen der verschiedenen Subs der Filterfunktion der Frequenzweiche und bedenkt, daß der Sub wenigstens bis 65 Hz noch vollen Schalldruck liefern soll, so kann man sich die nötigen Flankensteilheiten leicht ausrechnen:

Ziel:

65 Hz mit vollem Schalldruck, 150 Hz um mindestens 20 dB gedämpft.

⇒ Eckfrequenz der Weiche: 75 Hz (-3 dB Punkt), damit ist die kritische Frequenz genau eine Oktav darüber (doppelte Frequenz).

Beispiel für einen Cerwin-Vega AI im geschlossenen oder Baßreflexgehäuse (0 dB Anstieg):

mit Filter 18 dB/Okt (Zapco AXI) ⇒ $3 + 18 + 0 = 21$ dB Dämpfung bei 150 Hz ⇒ OK

Ein Polk DB im geschlossenen Gehäuse (4 dB natürliches Roll-off):

mit Filter 12 dB/Okt ⇒ $3 + 12 + 4 = 19$ dB
⇒ noch OK

mit Filter 18 dB/Okt ⇒ $3 + 18 + 4 = 25$ dB
⇒ sehr gut

Ein XL im Baßreflexgehäuse (4 dB Anstieg):
mit Filter 18 dB/Okt ⇒ $3 + 18 - 4 = 17$ dB
⇒ befriedigend

mit Filter 24 dB/Okt ⇒ $3 + 24 - 4 = 23$ dB
⇒ sehr gut

Serien- oder Singlereflex-Bandpaß (12 dB Abfall):

mit Filter 6 dB/Okt ⇒ $3+6+12 = 21$ dB
⇒ OK

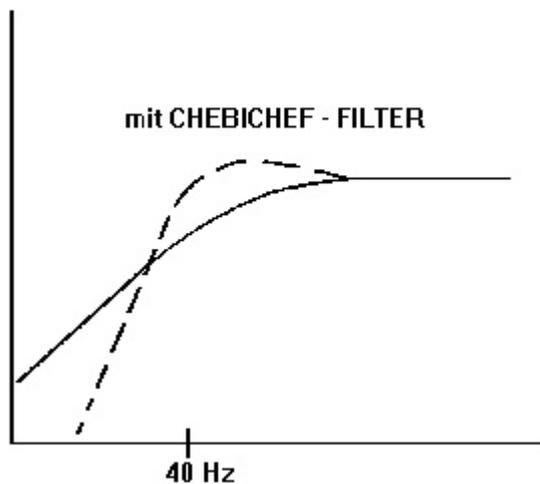
gleiches Filter bei 60 Hz: $3 + (3 \times 6) + 6 = 27$
⇒ noch OK für diese Frequenz,
wäre mit 12 dB/Okt Filter aber deutlich besser.
Doppelreflex-Bandpaß (18 Abfall): mit 6dB/Okt
⇒ 27 dB, sehr gut

Aber steilere Flanken kriegt man nicht umsonst. Passive Lösungen bedingen ab 18 dB/Okt bereits einen immensen Bauteileaufwand mit zwei Drosselspulen in Reihe zum Sub und entsprechend hohem Innenwiderstand, der den wirksamen Dämpfungsfaktor stark beeinträchtigt (siehe weiter hinten).

Aktiv geht das einfacher. Man kann auch 2 aktive Tiefpaßfilter hintereinander schalten. 12 dB/Okt hinter 12 dB/Okt resultiert in 24 dB/Okt. Nach diesem Prinzip funktionieren die Zapco-Weichen, die im Mono-Betrieb einfach die 12 dB Weichen der beiden Stereo-Kanäle hintereinanderschalten. Rein theoretisch kann man derart beliebig viele Weichen hintereinanderschalten (engl.: staggern). Praktisch stimmt dann aber die resultierende Eckfrequenz nicht mehr mit den eingestellten Skalenwerten überein. Messen oder ein geübtes Ohr helfen da weiter.

Steile Weichen bringen aber auch Nachteile. Sie verschieben im Übernahmereich die Phasenlage des Signals. Allerdings ist dies bei Frequenzen um 80 Hz, wo wir unsere Subwoofer trennen, aufgrund der großen Wellenlängen nicht allzu erheblich. Stören kann das aber bei Mittel-Hochton Trennung. Dort sollte man nicht steiler als mit 18 dB/Okt trennen. Unkritischer als die üblicher Butterworth-Filter, was Phasenverschiebungen anbelangt, reagieren Bessel-Filtercharakteristiken und Linkwitz-Riley. Aber auch bei der Bewertung der unterschiedlichen Filtercharakteristiken spielen klangliche Gesichtspunkte eine Rolle. Bessel klingt knackiger. Chebichev klingt runder, aber auch voller. Daher bringt er im unteren Frequenzbereich, gerade auch für Subsonicfilter, sogar Vorteile, denn er wirkt im Filterbereich steiler und powert, je nach Auslegung, noch die Baßfrequenzen direkt oberhalb der Eckfrequenz.

Siehe Skizze:



D] KLANGBEEINFLUSSUNG VON SUBWOOFERN

Das geht elektrisch und mechanisch.

Stabilität:

Je stabiler die Gehäusewände und je dichter die Box (auch entlang der Montageflächen von Terminal und Subwoofer), desto tiefer und druckvoller der Klang. Manche Computer-Simulationsprogramme geben die Möglichkeit, den Verlustfaktor einzugeben. Normalwert ist 7. Besonders massive Boxen kann man bis zu Werten von 12, undichte und „klapperige“ Gehäuse (z. B. für die Kalkulation in „free-Air“ Volumen) sollten mit Werten um 3 - 4 kalkuliert werden. Der Computer zeigt Ihnen im Tiefbaßbereich, wo die Unterschiede liegen.

Dämmstoff:

Je mehr Dämmstoff, desto schlanker, aber auch tiefer und kontrollierter klingt der Baß. Dämmung wirkt wie ein niedrigeres Qtc. Dämmstoff immer so plazieren, daß er nicht an die Membran anschlagen kann. Sonst klappert's.

Mineralwolle:

(Rockwool, Isover) dämmt am besten bei Baßfrequenzen, ist aber beim Einatmen ungesund. Also nur in geschlossenen Gehäusen verwenden. Immer locker füllen, nie stopfen. Am

wirksamsten im Zentrum der Box, da dort die höchste Schallbewegung ist.

Polyesterwatte:

(BAF) wirkt im Baß schwächer, ist aber gesund und auch dauerhaft. Ebenfalls nicht zu dicht stopfen.

Schafwolle:

dämmt schwach, gut für Mitteltöner.

Putzwolle:

wie Poly-watte.

Schaumstoff:

offenporig, mit oder ohne Noppen. Auf Innenwände aufgeklebt (Teppichband, Ponal, tackern), wirkt gut in belüfteten Gehäusen (BR, BandP.) als Bremse gegen Innenreflexionen. Bei sauber ausgelegten Subs reicht die Bedämmung von 3 der 6 Innenwände. Die Wände, in denen Sub oder Rohre sitzen, sollten frei bleiben. Sonst schluckt das die Impulsfreude.

Bofoam:

Sonderform des Schaumstoffs mit höherer Masse, daher stärker wirksam in unteren Frequenzen.

Bitumenplatten:

diese können keine Luftbewegung dämmen, sondern dämpfen lediglich Bewegungen von Bauteilen, wie in diesem Fall instabile Boxenwände. Bei ordentlich gebauten Subwooferkisten unsinnig.

Weichfaserplatten:

möglichst die Version mit Sacklöchern. Wirken ähnlich wie Bofoam, verringern aber das wirksame Boxenvolumen. Müssen flächig verleimt werden und wirken dann auch zusätzlich dämpfend.

Gesamtdämpfung Qt:

Dieser Wert sagt aus, wie gut der Lautsprecher aufgrund seines inneren Aufbaus mechanisch (Qm) gedämpft und elektrisch (Qe) kontrollierbar ist. Je kleiner der Wert, desto stärker die Dämpfung. Qm resultiert aus innerer Reibung, Steifigkeit und Dämpfung des Sicken- und Zentrierspinnenmaterials und durch innere Luftwiderstände z. B. der hinter der Zentrierspinne eingeschlossenen Luft. Sind diese Qm Werte hoch (wohin sie nach der Einspielzeit ohnehin tendieren), ist der Woofer impulsreudiger, muß aber elektrisch gut kontrolliert werden. Dies erfolgt durch niedrige Qe-Werte,

falls der Verstärker mitspielt. Letztlich entscheidend ist das Q_{tc} , das ist der Gesamtwert der Dämpfung nach Einbau in ein (geschlossenes) Gehäuse.

Die Theorie besagt, daß der Q_t -Wert von 0,707 den perfekten Kompromis aus Unterdämpfung (größere Werte) und zu starker Dämpfung (kleinere Werte) darstellt. Die Amerikaner mögen meist den wärmeren und etwas voller, aber weicher, klingenden Baß mit Q_{tc} um 1, Italiener mögen mehr den trocken fetzigen Baß mit 0,6. Nur darf man nicht vergessen: durch die extreme Eckaufstellung des Subs im Auto ergeben sich, wie zuvor schon erwähnt, Effekte, die das Q_{tc} quasi erhöhen. Deshalb klingen auf $Q_{tc} = 0,7$ optimierte Boxen dann im Auto nicht mehr so trocken, wie erwartet. Hier sollte man je nach Plazierung der Boxen im Auto schon bei der Berechnung entsprechend vorkorrigiert werden. Spätere Korrekturmöglichkeiten hat man in gewissem Umfang noch durch Hinzufügen von Dämmstoff.

Schwieriger wird's bei anderen als geschlossenen Gehäusen. Ohnehin nicht so präzise wie geschlossene, aber druckvoller klingend, kann man den Q_{tc} -Wert nicht so einfach bestimmen. Am besten, man schaut sich die Frequenzkurve guter geschlossener Konstruktionen in der Computersimulation an und versucht, die Kurven anderer Gehäuseprinzipien im unteren Bereich in etwa anzupassen. Bei BR-Boxen führt das zu (eigentlich zu) langen Rohren.

Dämpfungsfaktor:

Dieser Wert bezeichnet das Verhältnis des Abschlußwiderstands (Lautsprecherimpedanz) zum Innenwiderstand des Verstärkers. Beispiel: $4 / 0,01 = 400$.

Tatsächlich beträgt die Impedanz eines Lautsprechers aber nicht immer 4 Ohm, sondern schwankt frequenzabhängig. Sie ist besonders hoch im Bereich der Resonanzfrequenz des Töners, sinkt dann ab und steigt zu hohen Frequenzen, bedingt durch die Induktivität der Schwingspule, wieder an. Folglich dämpft der Verstärker einen Baßlautsprecher ausgerechnet im oberen Baßbereich, dem „Boom“-Bereich, dort, wo die Impedanz absinkt, am schwächsten. Noch kritischer wird es, wenn man ein passives Filter 2ter Ordnung benutzt. Der Innenwiderstand der in Reihe geschalteten Drosselspule addiert sich zum Innenwiderstand des Verstärkers und verringert den am Lautsprecher wirkenden Dämpfungsfaktor deut-

lich, Beispiel: $4 / (0,01 + 0,5) = 8$ statt vorher 400. Also kaum noch wirksam. Zudem erniedrigt unsere Parallelkapazität noch die Lautsprecherimpedanz im oberen Baßbereich, was eine weitere Minderung der tatsächlichen Dämpfung mit sich bringt. Resultat: Baßbrei statt knorrig präziser Auflösung einzelner Impulse. Da hilft auch kein noch so dicker Magnet mit super niedrigem Q_e .

Jetzt stellen Sie sich mal vor, Sie betreiben einen 4Ohm Free-Air Subwoofer mit $Q_{ts} = 0,7$ über eine gängige TriMode-Passivweiche (R_i der Spule 0,6 Ohm) an einem Verstärker mit einem eigentlich guten Dämpfungsfaktor vom 150. In TriMode gibt der Verstärker seine Leistung gebrückt an den Sub weiter, damit verdoppelt sich der Innenwiderstand von 0,267 auf 0,53 Ω . Das ergibt einen resultierenden Dämpfungsfaktor am Baßlautsprecher von: $4 / (0,53 + 0,6) = 3,5$. Also praktisch = Null. Da ist es dann auch nicht mehr so wichtig, daß ein typischer Free-Air Subwoofer mit Q_e um 0,7 sowieso nicht viel mit einer besseren Dämpfung anfangen können. Da außerdem der arme Subwoofer auch kein rettendes Luftpolster als mechanische Federhilfe hinter sich verspürt, ist er den ungedämpften Baßattacken hilflos ausgeliefert und stirbt über kurz oder lang den Tod der mechanischen Überlastung.

Also: wenn schon Free-Air, dann nur aktiv und nicht mit einer gebrückt laufenden Endstufe, es sei denn, sie hat derart gute Dämpfungsfaktoren wie Zapco Verstärker. Da Free-Air ohnehin meist nur von Leuten gefragt ist, die Geld sparen wollen, hier ein Vorschlag, wie's auch für kleines Geld gut funktioniert: MAX P.E.S.4 als Vorverstärker/EQ; den 12 dB/Okt Subwooferausgang auf ca. 70 Hz einstellen, von da in den Mono-Verstärker MAX B 400/1, dort die Weiche auf 24 dB/Okt bei ca 90 bis 100 Hz einstellen. Das ergibt eine Bessel-ähnliche Filtercharakteristik mit einer äußerst steilen Flanke von 36 dB/Okt bei voller Nutzung des Dämpfungsfaktors von über 150. Und damit sehr sauberen und recht ordentlich kontrollierten Klang. Wenn der verwendete Sub noch so günstige Parameter besitzt wie der Cerwin-Vega S 12 S, dann macht sogar Free-Air Spaß. Perfektionisten mit Schalldruckbedarf verwenden noch eine AXI Weiche ohne Modul (40 Hz Hochpaß) als Subsonicfilter.

Aufstellung:

Wie schon im ersten Baßinfo anno '91 beschrieben, spielt die Stelle der Schalleinleitung

ins Auto eine wichtige Rolle bei der Anregung akustischer Probleme des Autoinnenraumes. Je näher die Einleitung oberer Baßfrequenzen z. B. an der Heckscheibe üblicher PKW sitzt, desto stärker wird die 120 - 200 Hz Stehwelle im Auto angeregt und es dröhnt. Probieren Sie's mal aus und stellen Sie einen Gehäuse-sub mal an verschiedene Stellen in Ihrem Auto bei immer gleicher Lautstärke und Musik. Sie werden hören, daß der Baß vom Beifahrersitz am saubersten, aber auch an schlanksten klingt. Aber mal ehrlich: kann ein Subwoofer eine hübsche Beifahrerin wirklich ersetzen? Also, ab in den Kofferraum mit dem Kerl und mit niedrigem Qtc, steiler Weiche und gut dämpfendem Baßverstärker angefeuert. Dann bietet der Beifahrersitz Platz für Schöneres.

Baut man einen Doppelreflex-Bandpaß, wirkt sich die Stelle, wo die beiden Rohre in den Innenraum münden, genauso aus: das Rohr aus Kammer 2 (die vor der Membran, mit der oberen Abstimmfrequenz) sollte immer weit weg von stehwellenanregenden Stellen münden, das tiefer abgestimmte freut sich über die schalldruckunterstützende Wirkung der Heckscheibe aber sehr, da es keine Dröhnfrequenzen abstrahlt.

Geheimtips:

Sie haben's sicher schon gehört: Jeder will Tiiiiiefbaß mit ganz kleinen Gehäusen. Also isobaric oder Woofer mit eher schweren Membranen und starken Antrieben (VEGA, AI, Stroker).

- Das bringt aber auch Probleme. Wenn so ein Baß waagrecht nach oben feuert, muß der arme Verstärker mit all seinen Stromreserven nicht nur gegen die hohe Massenträgheit sondern auch noch gegen die Schwerkraft ankämpfen. Das belastet sein Netzteil zusätzlich. Also: Subs möglichst hochkant einbauen, d. h. Membran nicht nach oben oder unten.

- So kleine Gehäuse bergen aber auch noch weitere Probleme: sind sie geschlossen und können diese Subs viel Hub, zerrt und drückt die in der Box eingeschlossene Luft besonders brutal von hinten an Membran und Sicke. Also muß sie extrem stabil sein. Und die Sicke auch. Vergleichen sie mal die o. g. Subs mit anderen.

- Sind die Gehäuse belüftet, gibt's ein anderes Problem: die für tiefe Abstimmfrequenzen nötigen Rohre (Kanäle) werden entweder ewig

lang oder viel zu dünn. Zu lang bereitet Ärger beim Bau der Boxen und bei Längen über 60 bis 70 cm können bereits Transmissionline-Effekte entstehen, die den Frequenzgang beeinträchtigen. Zu dünne ergeben häßliche Turbulenzgeräusche an den Rohrmündungen innen und außen. Da helfen nur Aeroports.

- Wenn Sie alles richtig gemacht haben und auch gute Kickbässe vorn im Auto sitzen haben, die schon ab 70-80 Hz Schalldruck produzieren und der Baß ist immer noch von hinten ortbar, dann polen Sie alle Frontlautsprecher einfach mal um. Das hilft dann meist.

- Wenn alles wunderbar klingt, aber, sobald Sie laut drehen, verschwimmt die perfekte Baßauflösung trotz ausreichender Leistungsver-sorgung seitens der Endstufen und stabiler Stromversorgung (Pufferkondensator), dann könnte es Ihr „heilix Blechle“ sein, das Ihnen in die Suppe spuckt. Wie schon weiter vorn beschrieben, schwingen Bleche gern mit. Da mit eigenem Gewicht und bestimmter Steifigkeit ausgestattet, haben sie auch eine eigene Resonanz. Leicht zu bestimmen mit einem Sinusgenerator, mit dem Sie diese gezielt anregen können. Oder auch mit Hilfe der Auto-sound 2000 CD, die Einzelfrequenzen von 16 bis 99 Hz bietet. Schwingt das Blech im Baßbereich mit, kann es dank seiner großen Fläche (Dach, Seitenteile) gegenphasig schwingen und damit eigentlich erwünschte Frequenzen wegilgen. Liegt die Blech-resonanz deutlich über 80 Hz, könnte man durch Auflaminieren von GFK-Matten ver-suchen, sie noch weiter hoch zu schieben, damit sie weniger stört. Meist resonieren große Flächen mitten im Haupt-Baßbereich. Dann hilft nur dämpfen (Bitumen) und verstimmen (Sandwich-Aufbau). Das ist wahnsinnig viel Arbeit und geht auch auf's Fzg.-gewicht, lohnt aber. Denn auch ohne Musik klingt dann ein Astra wie ein Rolls-Royce (naja fast).

#

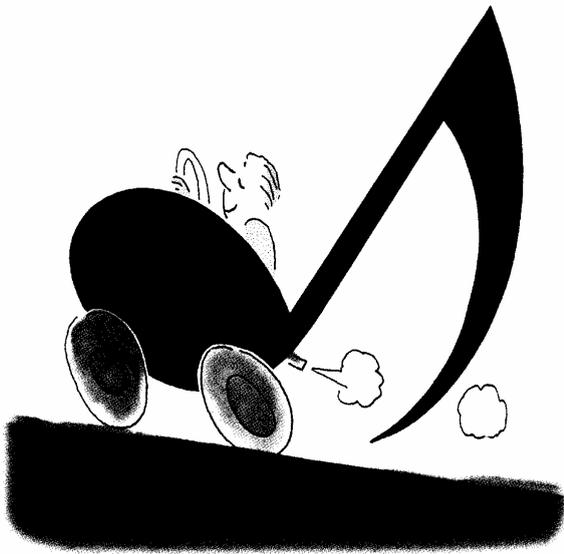
Sie sehen, es gibt eine Menge Dinge, die die Qualität der Baßwiedergabe im Auto beeinflussen können. Chassisparameter, Gehäuse, Dämmung, Verstärker, Frequenzweiche, Aufstellung und Blech. Für ein perfektes Ergebnis muß man all das optimieren. Das erfordert eine gründliche Planung und oft eine arbeitsreiche Ausführung. Allerdings belohnt Sie das Ergebnis dann umso mehr.

Sind Sie noch nicht so erfahren, können Sie viel Zeit, Geld und Frust sparen, wenn Sie ein paar

Mark in eine wirklich kompetente Beratung durch Ihren Fachhändler investieren. Tricom unterstützt zudem noch sein Competition Team, in dem viele „alte“ Cracks bis hin zu deutschen Meistern ihre Erfahrung weitergeben. Sparen Sie also nicht am falschen Ende. Nur durch Beachtung aller Einflüsse lässt sich das Potential eines so teuren Subwoofers, wie dem Stroker, überhaupt erst richtig ausschöpfen. Das Ergebnis ist dann aber im wahrsten Sinne des Wortes - atemberaubend.

Viel Spaß und Erfolg beim Planen, Bauen und Hören und ebensoviel Vernunft beim Umgang mit Ihrer potenten Car-Audio-Anlage wünscht:

Klaus Methner



© by KoMET Engineering 6/97