



steller
Michael Otto
Classic.de

*Betrachtungen zur Wahl
von Lautsprecherboxen . . .*

Cabasse

Inhaltsverzeichnis

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto
HiFi-Classic.de

Wahl der Lautsprecherboxen

Grundsätzliche Hinweise 3

Die Musik als Ausgangspunkt

Klang und Färbung 4

Tonhöhe und Schalldruckkurve 5

Dynamik 6

Anschläge, Impulsverarbeitung 8

Definition, Klarheit 8

Einfluß des Raumes, Nachhall 9

Zusammenfassung der Meßdaten 9

Wiedergabe über Lautsprecherboxen

Klang und Färbung 10

Wiedergabekurve 10

Übertragungsbereich 11

Ausrichtung der Boxen 12

Lautsprecher und Richtwirkung 13

Wichtigste Konstruktionsprinzipien 14

Wirkungsgrad 15

Zulässige Belastbarkeit 17

Wahl der Verstärkerleistung 19

Impedanz 20

Impulsverarbeitung 21

Anordnung der Lautsprecherboxen 22

Servosteuerung 23

Produktion und Meßmethoden bei Cabasse-Lautsprecherboxen

Produktion 27

Meßmethoden für Lautsprecherboxen 29

Wahl der Lautsprecherboxen

Die Wahl dieses Bausteines der HiFi-Anlage sollte besonders sorgfältig getroffen werden, da von ihr die Gesamtqualität Ihrer HiFi-Anlage zum größten Teil mit bestimmt wird.

In den meisten Fällen sind Cabasse Lautsprecherboxen Zweitkäufe, also Frucht von Erfahrungen und den daraus zu ziehenden Konsequenzen.

Um das für Sie richtige Modell zu beurteilen, müssen Sie über seine technischen Daten Bescheid wissen und unter ähnlichen Bedingungen die verschiedenen Typen anhören, die Sie interessieren. Bevor Sie die technischen Angaben beurteilen, sollten Sie folgende Punkte in Ihre Überlegungen einbeziehen:

— eine Lautsprecherbox wird durch eine Reihe von Daten bestimmt, die aus Berechnungen und Messungen hervorgehen, welche einzeln bewertet in keiner Weise ein Bild der Gesamtqualität vermitteln;

— die Meßmethoden selbst sind von Firma zu Firma verschieden. Darum ist ein unmittelbarer Vergleich technischer Daten nicht ohne weiteres möglich.

Beispiel: Die Angabe eines Schalldruckes von 93 dB für zwei zu vergleichende Lautsprecherboxen bedeutet an sich überhaupt nichts. 93 dB ist nur der gemessene Schalldruck in einer gewissen Entfernung von der Lautsprecherbox bei einer angelegten elektrischen Leistung (im allgemeinen 1 Watt). Da der Schalldruck mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt, ergibt eine Messung in 1 Meter Abstand gegenüber einer anderen Messung in einem Abstand von 0,50 Meter nur 1/4 des Wertes. Das bedeutet, daß für gleiche Hörlautstärke für die eine Lautsprecherbox ein Verstärker mit 25 Watt Leistung erforderlich wäre, für die andere jedoch ein Verstärker mit einer Leistung von 100 Watt.

Die folgenden Seiten sollen Ihnen erleichtern, die von verschiedenen Firmen angegebenen Daten und Kurven vergleichen zu können.

Dabei müssen Sie fünf Grundregeln kennen bzw. beachten:

- die Angabe der Belastbarkeit einer Lautsprecherbox läßt keine Rückschlüsse auf ihre Qualität oder auf ihren Schalldruck zu,
- das Preisverhältnis zwischen Verstärker und Lautsprecherbox darf nicht ausschlaggebend sein. Es geht letztlich nur um einen Gesamtpreis einer HiFi-Anlage, bei dem jeder Baustein in Abhängigkeit von der Qualität der Lautsprecherbox zu wählen ist,
- die Anzahl der in einer Box eingebauten Lautsprechersysteme ist nicht für die Qualität unbedingt ausschlaggebend,
- manche Werbeaussagen heben besonders gute Daten hervor und lassen andere unentbehrliche Messungen unberücksichtigt, ohne welche diese Daten keinerlei Aussagekraft besitzen.

Beispiel: Untersuchung einer Lautsprecherbox auf Impulstreue, ohne Kenntnis der Impulsdauer und seiner Frequenz. Siehe Seite 8 "Impulsverarbeitung."

— gewisse sehr verlockende Theorien sind nur realisierbar, wenn die Ausgangsbedingungen eingehalten werden. Leider fehlt in Prospekten, die sich dieser Theorien als Werbung bedienen, meistens der Hinweis darauf, daß die Theorie nicht zum Tragen kommt, wenn die Grundvoraussetzungen fehlen.

Beispiel: die Impedanz eines Lautsprechersystems ändert sich von seiner Konzeption her mit der Frequenz. Es ist unmöglich, Frequenzweichen zu definieren, die eine konstante Impedanz der Lautsprecher voraussetzen würden. Dieser Fehler wird gemacht, wenn z.B. von einem Filter mit 6 dB/Oktave gesprochen wird.

Die nächsten Seiten behandeln die Analyse dieser verschiedenen Punkte und die Verfahren, die von Cabasse bei der Messung von Lautsprecherboxen angewendet werden.

Die Musik als Ausgangspunkt

Bevor man sich mit den technischen Daten befaßt, sollte man zum besseren Verständnis die Eigenschaften der Musik als Ausgangspunkt schematisch untersuchen.

Nehmen wir als konkretes Beispiel ein Klavier, dessen Klangbild jedem bekannt ist. Seine Merkmale sind interessant: es umfaßt eine große Anzahl von Oktaven und verfügt über einen weiten Dynamikbereich. Auf einem Heimflügel wird die Sonate 23 von Beethoven in S-Moll, die Appassionata gespielt. Unser Ziel ist es, daß zwischen dem Instrument selbst und der Reproduktion kein Unterschied hörbar ist. Das ist der Anspruch der High Fidelity.

Klang und Färbung

Der Pianist spielt die beiden ersten Noten gleichzeitig. Diese beiden "C", das eine mit 261,6 Hz und das andere mit 65,4 Hz, sind Grundtöne. Diese Grundtöne werden allein durch die Schwingungen der angeschlagenen Saiten erzeugt. Gleichzeitig entstehen Obertöne, die die Klangfarbe des Instrumentes bestimmen, d.h., seine Schönheit oder seine Mittelmäßigkeit. Diese Obertöne reichen bis über 20.000 Hz. Eine Änderung dieser Obertöne würde das Klangbild des Instrumentes verfälschen bzw. verfärbten. Das ist der häufigste Fehler zahlreicher Lautsprecherboxen.

Der Fehler ist zwar zu erkennen, jedoch vermitteln Schalldruckkurven nur einen mangelhaften Eindruck von der Größe der Verfälschungen. Eine verfärbungsfreie Wiedergabe kann nur in einem kritischen Hörtest erkannt werden. Sie kann nur mit einer kompromißlosen Konstruktions- und Fertigungstechnik erreicht werden. Im Falle einer Klangverfärbung werden Obertöne gedämpft oder andere hinzugefügt; können Teile eines Akkordes so verändert werden, daß die Klangstruktur vom Original abweicht. Wir möchten an dieser Stelle auf einen grundlegenden Unterschied hin-

weisen: ein Instrument fügt Obertöne hinzu, während eine hochwertige Lautsprecherbox neutral sein muß. Qualitäten und Fehler eines Produktes sind nicht immer mit dem Auge festzustellen. Eine Stradivari und eine gute Kopie weisen optisch nur ganz geringe Unterschiede auf. Für das Gehör stellt sich der Sachverhalt jedoch völlig anders dar!

Das gleiche gilt für Lautsprecherboxen. Begnügen Sie sich nicht damit, ihre technischen Daten zu lesen. Machen Sie Hörvergleiche. Am gleichen Ort, in der gleichen Lautstärke, mit dem gleichen Musikprogramm.

Tonhöhe und Schalldruckkurve

Der 48. Takt der Appassionata beginnt mit einer ziemlich hohen Note: einem "fes". Dieses "fes" ist eine Schwingung von 1318,5 Hz. Vom 48. bis zum Ende des 50. Taktes führen uns 36 Noten bis zu einem ziemlich tiefen "b": 58,27 Hz. All diese Noten werden sehr leise pianissimo gespielt, d.h. mit ganz leichtem, gleichmäßigem Anschlag. Hierbei sind zwei Dinge von besonderer Bedeutung.

Einerseits gibt es einen Schalldruckunterschied zwischen dem "fes" (1318,5 Hz) und dem "b" (58,27 Hz) bei gleichstarkem Anschlag. Sicherlich haben Sie bei Abhören eines Klaviers festgestellt, daß bei gleichstarkem Anschlag eines hohen Tones und unmittelbar darauf eines tiefen, beide Töne gleichlaut zu sein scheinen. In Wirklichkeit ist der Schalldruckpegel in den Tiefen sehr viel größer als in den Höhen, um die Empfindlichkeitsdifferenz des menschlichen Ohres für die beiden Frequenzbereiche zu kompensieren. Dies ist in jeder Instrumentalmusik der Fall. Der Unterschied zwischen tiefen und hohen Tönen kann von 1 bis 1000 reichen.

An dieser Stelle sei festgestellt, daß es sich bei elektronisch erzeugter Musik anders verhält. Aufgrund ihres Ursprungs werden hohe wie tiefe Töne erzeugt, deren Lautstärken keine großen Unterschiede aufweisen.

Andererseits ist die absolute Gleichmäßigkeit dieser sechsunddreißig Noten wichtig. Keine darf gehörmäßig lauter oder leiser wirken als die anderen, da in dieser absteigenden Tonfolge keinerlei Lautstärkeunterschiede enthalten sind.

Besitzt unsere HiFi-Anlage einen ausgeglichenen Frequenzgang, wird jeder Ton normal reproduziert. Voraussetzung ist dabei, daß man auf die natürliche Lautstärke des Instrumentes eingestellt hat (sonst müßte man die entsprechenden Lautstärken-Korrekturkurven berücksichtigen, die Kurven von Fletcher, Munson usw.). Hat eine Kurve ein "Loch" von 4 dB zwischen 400 und 440 Hz, und einen "Buckel" von 3 dB zwischen 700 und 800 Hz, ist alles anders. Wir werden dann die sechs ersten Töne normal hören, die drei nächsten doppelt so laut, die vier folgenden wieder normal und die zwei nächsten halb so laut, bevor wieder eine normale Lautstärke reproduziert wird: Bei diesem Beispiel wurden die Obertöne nicht berücksichtigt. Sie sehen die Wichtigkeit eines ausgeglichenen Frequenzganges. Er muß so linear wie möglich sein.

Die Modulationsfähigkeit und die Klangfarben sind nicht die einzigen Kriterien. Wir haben hier von Lautstärke gesprochen: unsere Sonate ist bei weitem nicht nur eine Folge von Tönen mit gleicher Lautstärke.

Dynamik

Die Schönheit der Musik, ihr Leben, ergibt sich aus der Folge von leisen und lauten Passagen. Ohne diesen Unterschied in der Lautstärke ist die Musik flach, wirkungslos. Unsere Anlage muß diesem Wechsel folgen können, ohne ihn zu verändern. Wenn sie *ppp* (piano pianissimo = sehr sehr leise) normal wiedergibt, muß sie auch ein *ff* (fortissimo = sehr laut) mit seinem vollen Reichtum, mit seinem vollen Volumen erzeugen. Das ist Dynamik.

The image shows a musical score for piano with two staves. The top staff has dynamics *ff*, *ff*, *p*, and *Dimin.*. The bottom staff has dynamics *pp*, *Morendo*, and *ppp*. There are also performance markings like 'Ped.' and '1', '2', '3', '4'.

Bevor wir zu einigen Zahlen kommen, wollen wir noch einmal unsere Partitur, unser Klavier und unsere Lautsprecherboxen vergleichen.

Bei den letzten Takten wird der Pianist nach sehr lauten Akkorden allmählich bis auf die drei Noten "des", "as", "c" absteigen, die ganz leise, in einem Hauch *ppp* gespielt werden. Es besteht ein enormer Unterschied zwischen diesem *ppp* und dem Anschlag eines der Akkorde sechs Takte vorher. Hier greift der Pianist heftig in die Tasten, die Hämmer sind entfesselt, und wenn sie auf die Saiten schlagen, erzeugen sie einen sehr lauten Ton, die durchschnittliche Lautstärke ist groß. Außerdem tritt eine ganz kurze Lautstärkenspitze genau in dem Augenblick auf, in dem der Ton entsteht. Diese Spitze gibt es bei allen Lautstärken, vom Pianissimo bis zum Fortissimo. Sie gehört zum Ton, und ohne sie würde es sich

nicht um einen wesensgleichen Ton handeln. Jeder Ton, jeder Zusammenklang wird also aus einer durchschnittlichen und einer Spitzen-Lautstärke gebildet.

Stellen wir uns vor, die Folge *ff* (fortissimo = sehr laut) und *pp* (piano pianissimo = sehr sehr leise) wird wiedergegeben. Wenn unsere Anlage die größte Lautstärke zum Zeitpunkt der Spitze übertragen kann, gibt es keine Dynamikprobleme. Alle Lautstärkenunterschiede können klar wahrgenommen werden. Wenn die Leistung unserer Anlage diesen Pegel allerdings nicht erreichen kann, wird die Spitzenlautstärke unterdrückt. Hier wird der Grundbegriff der Dynamik deutlich, der so oft mit einer Wiedergabe mit großer Lautstärke verwechselt wird. Ihre Anlage muß das Leben eines Musikstückes vom Pianissimo bis zum Fortissimo wiedergeben können. Eine möglichst große Leistungsreserve ist erforderlich. Wenn Sie diese Reserve nicht

besitzen, was können Sie dann tun? Instinktiv werden Sie die Musik auf eine zu hohe relative Lautstärke einstellen. Ihre Pianissimi werden lauter klingen, als sie sollten. Das allein ist schon ein Fehler. Große Spitzenleistungen kann Ihr Verstärker (und Ihre Lautsprecherboxen) nicht mehr verarbeiten. Daraus ergibt sich eine Abflachung der gesamten Musikwiedergabe sowie Verzerrungen bei großen Lautstärken. Zusätzlich besteht in diesem Fall die Gefahr, daß Ihre Lautsprecher über kurz oder lang zerstört werden.

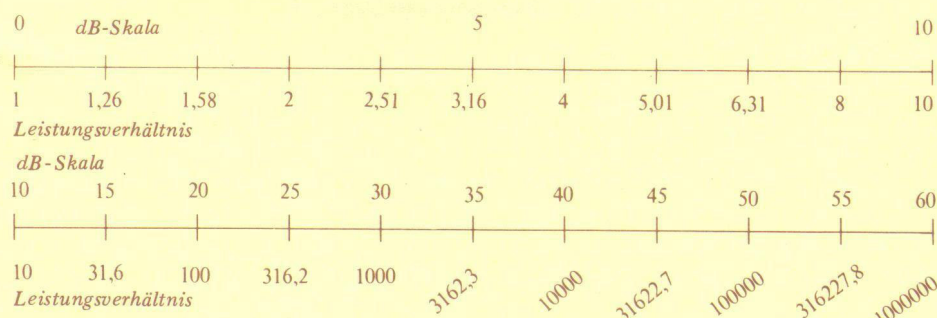
All dies läßt sich sehr gut in Zahlen ausdrücken. Wir sprachen soeben von einer relativen Lautstärke von *pp*, von *ff*, von Spitzen. Denken wir an ein Symphonieorchester: Eine Flöte spielt allein, Pianissimo. Zwei Sekunden später entfaltet sich das Orchester in voller Lautstärke. Ist Ihnen der Lautstärkenunterschied zwischen der Flöte und dieser enormen Geräuschkulisse bekannt? Der Pegel der Flöte müßte mit 1.000.000 multipliziert werden, um auf eine derartige Lautstärke zu kommen. Damit in den Berechnungen nicht allzugroße Zahlen erscheinen, verwendet man das Dezibel. Diese Angabe beruht auf Logarithmen. Ein Unterschied von 60 dB entspricht unserem oben genannten Leistungsverhältnis von 1 zu 1.000.000 (siehe Leistungsskala $10 \log. 1.000.000 = 60 \text{ dB}$). In der Akustik werden Lautstärkemessungen auf eine feste Größe

bezogen. Diese Bezugsgröße entspricht der durchschnittlichen Hörbarkeitsschwelle bei 1.000 Hz. Ein Pegel von 100 dB ist also der Unterschied zwischen dieser Schwelle und der Lautstärke von 100 dB. Also die 10.000.000.000-fache Leistung;

($10 \log. 10.000.000.000 = 100 \text{ dB}$) Stellen wir ein Mikrofon in einem Meter Abstand vom Klavier auf und verbinden es mit den Meßgeräten. Spielen wir nun einige Noten unserer Sonate. Die Hämmer, welche die Akkorde *ff* anschlagen, liefern zu diesem Zeitpunkt 115 dB (Spitze) und 103 dB (Durchschnittspegel). Der letzte Akkord, Pianissimo, liefert nur 60 dB (mittlerer Pegel). Die mittlere Lautstärke der Sonate beträgt 75 dB, was im allgemeinen für das Klangvolumen eines Klaviers angemessen ist.

Es liegt also zwischen diesen beiden Messungen eine erhebliche Dynamik vor: von 60 bis 115 dB, also 55 dB. Dieser Wert entspricht einem Verhältnis von 1 zu 316.000.

Ihre HiFi-Anlage wird nur dann wiedergabegetreu sein, wenn sie die Spitzenleistung von 115 dB, die beim Anschlagen der Tasten erreicht wird, wiedergeben kann. Aber, das sei hier wiederholt, dies gilt nur für einen Augenblick und bedeutet nicht, daß man die Musik sehr laut empfindet. Man versucht nur, ein Instrument naturgetreu wiederzugeben, mit seinem ganzen Reichtum, in seiner typischen Eigenlautstärke.



Anschläge, Impulsverarbeitung

Nehmen wir die gleichen Takte. Bei den Akkorden haben wir von sehr heftigen Anschlägen, von Spitzenleistungen gesprochen. Diese Augenblicke sind sehr kurz. Wenn man die Schnelligkeit des Lautstärkeanstiegs dieser Anschläge verringert, so wird die Musik langweilig, auch wenn die Lautstärke selbst eingehalten wird.

Ein Paukenschlag ist vielleicht ein besser verständliches Beispiel. Der Lautstärkepegel ist sehr groß (ca. 120 dB). Der Anschlag ist außerordentlich kurz. Wenn unsere Anlage lange benötigt, um die zugeführten Signale zu verarbeiten, werden sich diese Tonakzente nur noch als starkes Geräusch darstellen, welches mit dem eigentlichen Originalton nichts mehr gemein hat. Dies läßt sich durch eine Analyse der Impulsverarbeitung nachweisen.

Auch in dieser Hinsicht ist das Anhören eines Klaviers aufschlußreich. Das Anschlagen eines jeden Akkordes ist dann deutlich erkennbar, wenn die Impulsverarbeitung gut ist. Bei schlechter Impulsverarbeitung hat man den Eindruck, daß das Pedal niedergedrückt bleibt und daß wir es mit einer Klangverfälschung zu tun haben.

Definition, Klarheit



In diesen vier Takten sind die tiefen Töne besonders wichtig. Auf den ersten Akkord folgen elf "es", auf den zweiten elf weitere "es", diesmal eine Oktave tiefer. Dann kommen vierundzwanzig sehr tiefe Akkorde mit der linken Hand. Ein guter Pianist wird jede dieser Noten gleichmäßig und deutlich voneinander abgesetzt spielen.

Bei der Reproduktion muß das genau so sein, und wird auch zutreffen, wenn unsere Anlage gut ist. Wenn der Übertragungsbereich bis zum "as" (51,9 Hz) hinunterreicht, wenn unsere Lautsprecherbox gut gearbeitet ist, werden Töne klar und deutlich wiedergegeben.

Werden dagegen die tiefen Frequenzen mehr oder weniger künstlich erzielt, so besteht die Gefahr, daß sich alle benachbarten Töne dieser Frequenz ähneln, und man nur noch ein tiefes, nicht mehr definierbares Geräusch vernimmt.

Diese Erscheinung wird beim Anhören eines Kontrabasses sehr deutlich. Wieviel Lautsprecherboxen verdampfen Georges Brassins zu einer "Fass-Begleitung".

Während auf einer guten HiFi-Anlage die Virtuosität von Pierre Nicolas, seinem Begleiter, in ihrem vollen Glanz hörbar wird.

Einfluß des Raumes, Nachhall

In dieser Studie, die, wie wir nochmals hervorheben wollen, schematisch einige Prinzipien beschreiben soll, wurde der Wiedergaberaum vernachlässigt. Wie Sie wissen, besitzt jeder Raum eine spezifische Akustik. Sie ist abhängig von den Abmessungen, der Art der Wände, des Bodens, der Möbel, Ihrer Anordnung usw.

Die von unserem Klavier erzeugten Töne verarbeiten sich im Raum und werden gebrochen. Es entsteht Nachhall, der sich mit den direkten Tönen vermischt.

Um den naturgetreuen Ton eines Klaviers zu reproduzieren, kann man das Klavier nicht in dem Raum aufnehmen, in dem es wiedergegeben wird. In der Tat wird die erste Reflexion vom Mikrophon aufgenommen. Sie wird in der Folge zu der des Wiedergaberaumes hinzukommen. Die Lösung ist, die Aufnahme in einem neutralen Raum mit geringen Reflexionen vorzunehmen. Wenn die Lautsprecherboxen an der gleichen Stelle wie das Klavier aufgestellt werden, sind Klavier und Aufzeichnung vergleichbar. Anlässlich der HiFi-Ausstellung in Düsseldorf fand eine Vorführung statt, die mit der Studie vergleich-

bar ist, die wir vornahmen. Um das erreichte Qualitätsniveau zu zeigen, das mit der HiFi-Technik erreicht wurde, gab man ein Konzert besonderer Art: Das DHFI (Deutsches High Fidelity Institut) beschloß, das Oktet von Mendelssohn aufzuführen, jedoch nur durch vier Instrumentalisten. Diese hatten vorher die vier anderen Stimmen aufgenommen. Beim Konzert spielten zwei Lautsprecherboxen diese vier Stimmen und die vier Instrumentalisten die vier anderen.

Niemand konnte einen Unterschied zwischen dem vorher Aufgezeichneten und den "Live" agierenden Künstlern wahrnehmen. Die Veranstalter hatten für dieses Experiment Lautsprecherboxen Cabasse Brigantine 3VT mit 3 eingebauten Verstärkern eingesetzt.

Zusammenfassung

Unsere Sonate gestattete uns also die Festlegung einiger Meßdaten:

Wiederzugebende Frequenz:	60 bis 20.000 Hz
Verhältnis Tiefen-Höhen:	1 bis 1000
Durchschnittliche Lautstärke für die Appassionata	75 dB in 1 Meter Abstand
Durchschnitt eines <i>ppp</i> 60 dB; Durchschnitt eines <i>ff</i> 103 dB, Spitze eines <i>ff</i> 115 dB.	

Wiedergabe über Lautsprecherboxen

Auf den folgenden Seiten werden wir Einflüsse der Lautsprecherboxen und des Verstärkers auf den aufgezeichneten Ton unseres Klaviers untersuchen.

Auch hier ist jeder Einfluß meßbar. Die Gesamtheit der technischen Daten vermittelt ein Bild von der Lautsprecherbox, zu dem Ihr Eindruck beim Abhören hinzuzufügen ist.

Klang und Färbung

Die Wiedergabekurven und die Technischen Daten können nur einen geringen Eindruck von der Klangfärbung vermitteln.

Vergleichen Sie Lautsprecherboxen immer mit gleicher Lautstärke, und möglichst so angeordnet, daß sich die Hochtöner in Ohrhöhe befinden.

Das gesprochene Wort ist ein sehr guter Test. Aber Sie sollten sich auch ein Klavier und eine Geige anhören. Bei Vorführplatten ist

Vorsicht angebracht. Das Cembalo und die Orgel sind keine sehr guten Tests für Verfärbungen. Jede Musik auf Grundlage von Tonmischanlagen und verstärkten Instrumenten (elektrische Gitarre usw.) sollten Sie zurückweisen. Diese "Effektmusik" wird durch Lautsprecher erzeugt, ist also im voraus bereits verfärbt.

Wiedergabekurve

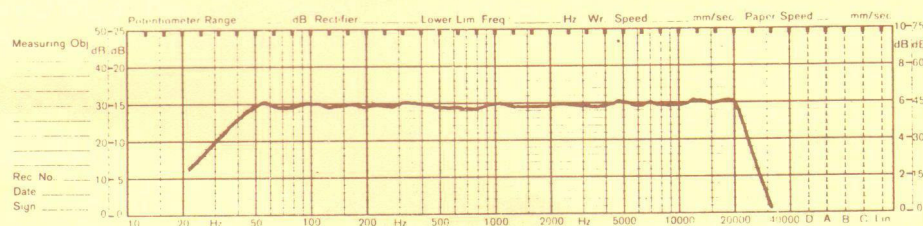
Die Wiedergabekurve ist die graphische Darstellung der Amplitude eines Signals, das von einer Lautsprecherbox abgegeben wird und zwar über alle im Tonspektrum enthaltenen Frequenzen. Diese Amplitude wird in dB (Dezibel) gemessen.

Der Frequenzgang ist eine zahlenmäßige Definition der Toleranzen der von dieser Lautspre-

cherbox übertragenen Frequenzen. Die Kurve gibt unmittelbaren Aufschluß über einige Fehler.

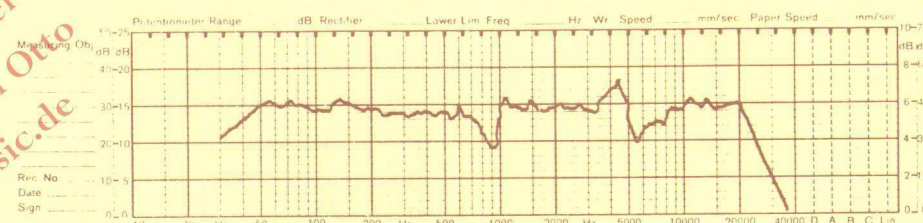
Beispiel: Zwei Lautsprecherboxen A und B können zwei gleiche Frequenzgänge aufweisen: z.B. 50 bis 20.000 Hz. Dies ist nur eine sehr ungenaue Beschreibung ihrer Eigenschaften und bedeutet absolut nicht,

daß die Lautsprecherbox A mit der Lautsprecherbox B identisch ist. Nehmen wir an, daß die Lautsprecherbox A zwischen 50 und 20.000 Hz eine sehr geradlinig verlaufende Kurve besitzt.



Die Lautsprecherbox A ist also gut geeignet, die Signale wiederzugeben, die sie vom Verstärker empfängt, und dies über das gesamte Tonspektrum. Kein Signal wird um mehr als

1 dB erhöht oder verstärkt, d.h., daß keine Leistung je mit mehr als 1,26 multipliziert oder dividiert wird. Hier die Kurve der Lautsprecherbox B:



Bei 50 und 20.000 Hz ist die Wiedergabe gut, aber z.B. bei 900 Hz beträgt sie -6 dB, bei 4.500 Hz +3 dB und bei 5.500 Hz -5 dB. Es sei hier angemerkt, daß 900 Hz und 5.500 Hz die Übergangsfrequenzen dieser Lautsprecherbox sind.

stärke, Töne um 4.500 Hz mit doppelter Lautstärke und solche mit 5.500 Hz mit weniger als 1/3 der Originallautstärke wiedergegeben. Sie werden also ein Instrument, das einen Ton von 900 Hz erzeugt, achtmal leiser hören als eines, dessen Tonhöhe 4.500 Hz beträgt. All dies erscheint zwar sehr theoretisch, beschreibt jedoch sehr gut die Wiedergabetreue der Lautsprecherbox A mit maximalen Schwankungen um einen Faktor von 1,26.

Auswirkungen
Mit der Lautsprecherbox B werden Töne um 50 Hz mit normaler Lautstärke reproduziert, Töne um 900 Hz werden mit 1/4 der Originallaut-

Übertragungsbereich

Der Übertragungsbereich gibt zwei Frequenzen an, die den Umfang des linearsten Bereiches der Wiedergabekurve begrenzen. Dies ist natürlich nur dann sinnvoll, wenn gleichzeitig die Toleranzen (in dB) genau angegeben sind, innerhalb deren sich die Kurve bewegt.

Die Zahlen vernachlässigen jedoch was innerhalb dieser Grenzen vor sich geht, während die Prüfung der Wiedergabekurve gestattet, sich unmittelbar über die Fehler einer Anlage im klaren zu werden, wenn man die Tricks

deuten und ausfindig machen kann, welche gewisse Fehler verschleiern können (z.B. eng gehaltene Abszisse, Aufzeichnungsgeschwindigkeit schnell in der Ordinate, aber langsam in der Abszisse, Kenndaten des Meßraums usw.)

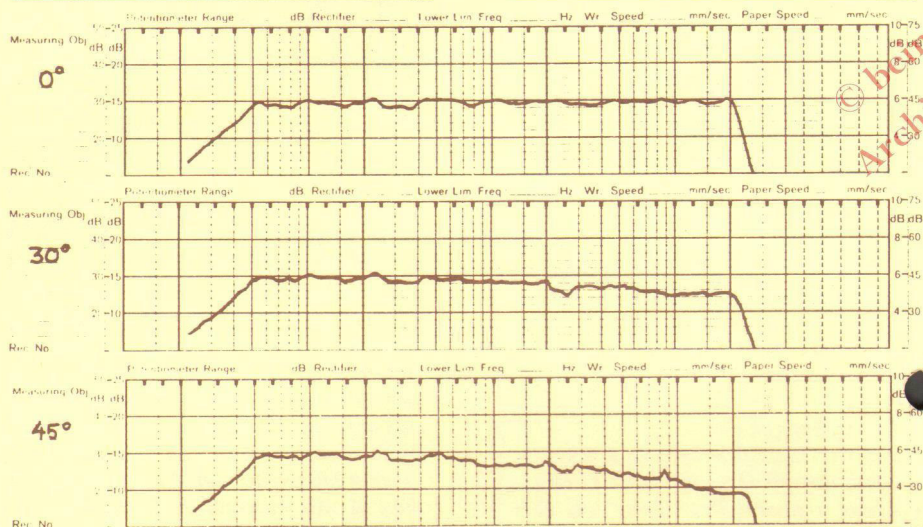
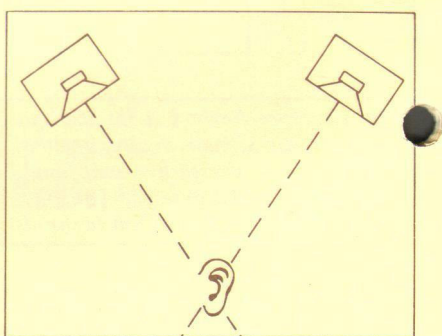
Ausrichtung der Boxen

Im allgemeinen werden die Wiedergabekurven nach einer Messung in der Achse des Lautsprechers angegeben; dies aus einem ganz einfachen Grund:

Die hohen Töne werden anders als die tiefen sehr gerichtet abgestrahlt. Eine Schalldruckkurve kann in der Achse der Lautsprecher gut sein, aber äußerst schlecht werden, sobald man von dieser Achse abweicht.

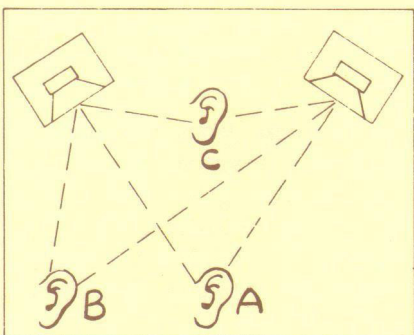
Die Folge ist: ein Hörer muß an den Schnittpunkten der Achsen der beiden Lautsprecherboxen sitzen (für Stereo), diese sind zwangsläufig so ausgerichtet, wie in der Abbildung gezeigt.

Beispiel: eine Lautsprecherbox hat die untenstehenden Schalldruckkurven für 0° , 30° und 45° Meßwinkel. Bei 50 Hz beträgt die Abweichung 0 dB in den drei Richtungen. Aber bei 15.000 Hz beträgt sie 0 dB bei 0° , -3 dB bei 30° und -6 dB bei 45° .

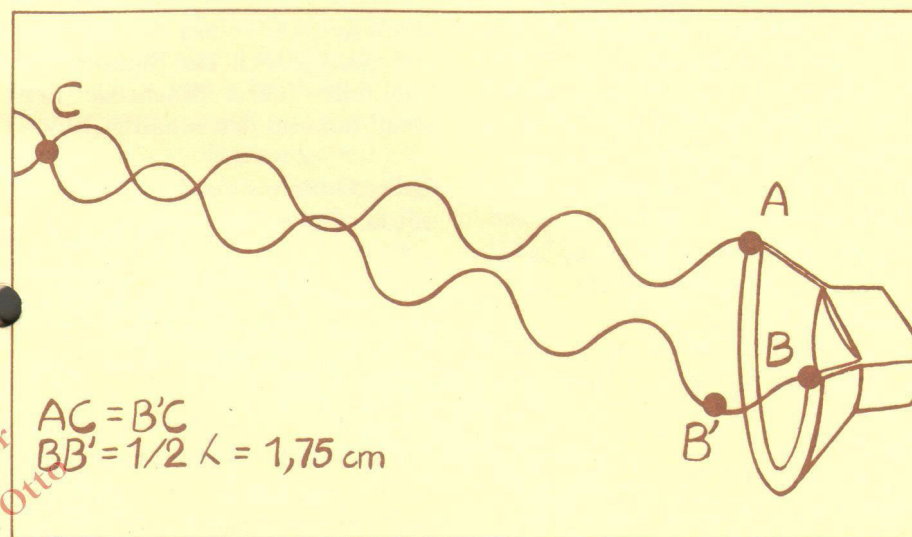


Das bedeutet anders ausgedrückt, daß man in 0° bei 50 und bei 15000 Hz die gleiche Lautstärke vernimmt. Bei 30° hat man nur die Hälfte der Höhen gegenüber den Tiefen und bei 45° ein Viertel der Höhen.

Wenn drei Personen die beiden von den Lautsprecherboxen 1 und 2 nach dem in der Abb. gezeigten Schema ausgestrahlten Töne anhören, und wenn diese drei Personen in A, B und C sitzen, wird die Person in A einwandfrei die beiden abgestrahlten Töne hören und dies in der gleichen Lautstärke. Dagegen werden die sitzenden Personen in B und C nur einen Teil der von beiden Lautsprecherboxen abgestrahlten Höhen hören können.



Lautsprecher und Richtwirkung



Die Richtwirkung hat ihre Ursache in der geringen Wellenlänge der hohen Frequenzen (bei 10.000 Hz beträgt die Wellenlänge 3,5 cm). Eine Lautsprechermembran strahlt durch ihre Bewegung Töne in den Raum ab. Sie hören die Summe der von verschiedenen Punkten der Membran ausgestrahlten Töne. Siehe obige Zeichnung.

Ihr Ohr findet sich an dem mit C bezeichneten Punkt. Die Entfernung AC und B'C sind gleich. Sie werden also gleichzeitig die in A und in B vorhandenen Wellenzüge hören. Diese sind gegeneinander phasenverschoben (die beiden Wellenzüge verlaufen genau entgegengesetzt). Sie heben sich auf. Das Ohr hört also nicht die von A und B abgestrahlten Töne, wenn es sich am Punkt C befindet. Es ist klar, daß diese Erscheinung um so stärker auftritt, je kürzer die Wellenlänge ist (je höher also die Frequenz ist). Deshalb ist die Richtwirkung der Lautsprechersysteme und damit

der Lautsprecherboxen in den Höhen wesentlich größer. Das ist auch der Grund für die Verwendung kleinerer Membranen für die oberen Frequenzbereiche. Das zeigt auch an, daß es sehr problematisch ist, mehrere Lautsprecher innerhalb eines gleichen Frequenzbereiches zu verwenden (außer gelegentlich bei der Beschallung). Es entstehen vermehrt Phasenprobleme, die zu einer größeren Richtungsabhängigkeit führen.

Die Konstrukteure sahen sich also gezwungen, die Richtwirkung hochwertiger Lautsprecherboxen zu vermindern. Leider ist ihre Entwicklung sehr schwierig (die Resultate sind oft sehr schlecht, und die Richtwirkung ist oft schlechter als die der bewährten Konus-Hochtonsysteme). Cabasse hat 4 Forschungsjahre für die Entwicklung seiner Kalottenlautsprecher eingesetzt, die heute zu den besten Entwicklungen zählen, die im Handel erhältlich sind. Ihre Richtwirkung ist außerordentlich gering.

WICHTIGSTE KONSTRUKTIONSPRINZIPIEN

Elektrostatische Lautsprecher

Prinzip:

– Eine große, leichte, starre und ebene Oberfläche wird von einem elektrischen Feld bewegt.

Vorzüge:

– Die Membran ist groß, alle Punkte verschieben sich also gleichzeitig.

– Die leichte Membran ist sehr gut geeignet für die Impulswiedergabe.

Nachteile:

– Die große Oberfläche führt zu starker Richtungswirkung.

– Die zahlreichen Interferenzen zwischen den verschiedenen Punkten heben die für die Impulswiedergabe erzielten Vorteile auf.

Bändchenlautsprecher

Prinzip:

– Ein Band wird durch ein Magnetfeld bewegt.

Vorzüge:

– Die gleichen wie für den elektrostatischen Lautsprecher.

Nachteile:

– Sehr geringer Wirkungsgrad: er muß also mit einer Art Schalltrichter versehen sein. Diese Kombination verdoppelt die Probleme: Bandform und Ausbildung des Schalltrichters.

Piezoelektrischer Lautsprecher

Prinzip:

– Ein piezoelektrisches Quarz verformt sich unter Einwirkung eines elektrischen Potentials.

Vorzüge:

– Sehr geringe Trägheit. Sehr geringer Gesteignispreis.

Nachteile:

– Geringer Wirkungsgrad, verbessert durch Verwendung einer

Membran und eines Schalltrichters, was jedoch zur Summe der Nachteile führt: Nachteile der Membran und des Schalltrichters.

Elektrodynamischer Lautsprecher mit konischer Membran

Prinzip:

– Konusförmige Membran, bewegt nach dem elektrodynamischen Antriebsprinzip (Spule plus Magnet).

Vorzüge:

– Dies ist der meist verwendete Systemtyp, also der, auf den auch die umfangreichsten Forschungsarbeiten verwendet werden.

– Sehr hoch entwickelte Modelle erreichen einen Qualitätsstandard, der gelegentlich sehr nahe an die Perfektion heranreicht. Es ist festzustellen, daß sehr gute Hochtöner mit Konusmembran qualitativ besser sind, als gewisse Kalotten-Hochtöner).

Nachteil:

– Große Richtwirkung bei der Höhenwiedergabe.

Elektrodynamischer Lautsprecher mit Kalotte

Prinzip:

– Kuppelförmige Membran nach dem elektrodynamischen Antriebssystem (Spule-Magnet) bewegt.

Vorzüge:

– Die Kalottenform ist sehr gut geeignet, einen großen Abstrahlwinkel zu erreichen.

– Eine Kalotte mit geringen Abmessungen vermeidet Interferenzen in den Höhen.

Nachteile:

– Sehr eingehende Untersuchungen für Form und Werkstoffe sind erforderlich.

– Wirkungsgrad bisweilen gering.

CABASSE seinerseits hat die Kalotten-Hochtöner Typ DOM 3 und DOM 4 entwickelt, und dafür viele Jahre der Forschung benötigt.

Es war in der Tat notwendig, bei gleichzeitiger Nutzung der Kalotten-Vorteile einen Wirkungsgrad zu erreichen, wie er bei herkömmlichen Konuslautsprechern für Bässe und Mittellagen gegeben ist. Bei der Entwicklung wurden die verschiedensten Probleme gleichzeitig berücksichtigt. Untersu-

chungsreihen befaßten sich mit der Form, den Abmessungen und den Werkstoffen sowie mit der Anpassung an die Luft. Eine ganz besondere Untersuchung wurde dabei dem Antriebselement zuteil. Dadurch wurde es möglich, die außergewöhnlichen Kalotten-Hochtöner DOM 3 und DOM 4 zu entwickeln.

Von den Kalotten-Hochtönern DOM 3 und DOM 4 wurden die Kalotten-Mitteltöner DOM 12 und DOM 13 abgeleitet.

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad einer Lautsprecherbox gibt an, welche Lautstärke bei einer bestimmten elektrischen Eingangsleistung wiedergegeben werden kann. Bei gleicher elektrischer Leistungsaufnahme ist der erzielte Schalldruck um so größer, je größer der Wirkungsgrad ist.

Der Wirkungsgrad wird in dB gemessen. Ein an ein Meßgerät angeschlossenes Mikrofon wird in einer gewissen Entfernung in der 00-Achse vor dem Lautsprecher aufgestellt (im allgemeinen 1 Meter).

Die Messungen bei unserer Sonate hatten nachstehende Zahlen erbracht:

ppp: 60 dB

Durchschnittliche Lautstärke: 75 dB

dB – ff: 103 dB

Spitze: 115 dB

Unsere HiFi-Anlage wird also das Klavier nur dann naturgetreu wiedergeben können, wenn sie einen Schalldruck von 103 dB im

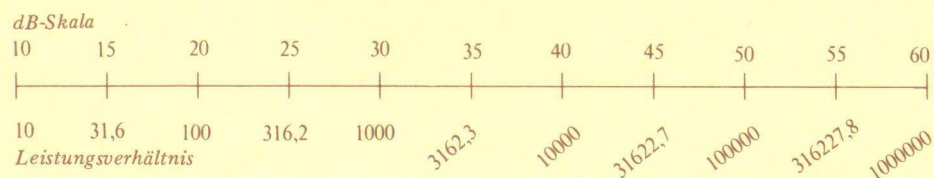
Durchschnitt und 115 dB als Spitze erzeugen kann.

Wie läßt sich das praktisch ermitteln?

Der Wirkungsgrad einer Lautsprecherbox ist in ihren technischen Daten z.B. wie folgt angegeben: Schalldruckpegel: 95 dB für 1 Watt in 1 Meter Abstand.

Gibt der Verstärker eine Leistung von 1 Watt ab, wird der Schalldruck in 1 Meter Entfernung von der Lautsprecherbox 95 Dezibel betragen. Die nachstehende Meßskala macht das deutlich:

Jedem Wert in dB ist ein Leistungsverhältnis zugeordnet und umgekehrt.



Beispiel: Bestimmung der notwendigen Verstärkerleistung.

a. Für eine Lautstärke von 103 dB
Verstärkerleistung 1 Watt für 95 dB
in 1 Meter.

$103 - 95 = 8 \text{ dB}$.

$8 \text{ dB} \rightarrow 6,31$ (Leistungsverhältnis).

Notwendige Leistung:

$6,31 \text{ Watt}$ für 103 dB in 1 m.

b. Für eine Spitzenlautstärke von 115 dB

Verstärkerleistung: 1 Watt für 95 dB

$115 - 95 = 20 \text{ dB}$

$20 \text{ dB} \rightarrow 100$ Leistungsverhältnis.

Notwendige Spitzenleistung:

100 Watt für 115 dB in 1 Meter.

b. Spitzenleistung 115 dB

Verstärkerleistung: 1 Watt für 80 dB

$115 - 80 = 35 \text{ dB}$

$35 \text{ dB} \rightarrow 3\,162,3$ (Leistungsverhältnis).

Notwendige Spitzenleistung:

$3\,162 \text{ Watt}$ für 115 dB in 1 Meter.

Wir brauchen also einen Verstärker

von $3\,162 \text{ Watt}$, also im günstigsten

Fall: $3\,162 : 4 = 800 \text{ Watt}$ Nennleistung.

Ganz zu schweigen von unserer Laut-

sprecherbox, deren Lautsprecher-

systeme Gefahr laufen, schon bei

der ersten Impulsspitze durchzu-

brennen.

in der Größenordnung von 92 bis 96 dB ist also notwendig, um eine Aufzeichnung mit starker Dynamik (klassische Musik) problemlos anzuhören.

Wenn Sie bereits einen Verstärker mit einer bestimmten Leistung besitzen, können Sie den Nennschalldruckpegel bestimmen, den die zur Wahl stehenden Lautsprecherboxen mindestens haben müssen.

Beispiel: Sie besitzen einen Verstärker mit 20 Nennleistung und 60 Watt Spitzenleistung.

Aus unserer Skala können Sie direkt den Leistungsgewinn des Verstärkers finden, und zwar:

$20 \text{ Watt} = 13 \text{ dB}$

$60 \text{ Watt} = 18 \text{ dB}$

Wir wünschen 103 und 115 dB

$103 - 13 = 90 \text{ dB}$

$115 - 18 = 97 \text{ dB}$

Natürlich ist die größere Messung zu wählen. Unsere Lautsprecherbox muß für 1 Watt in 1 Meter Abstand einen Nennschalldruckpegel von 97 dB aufweisen.

So können Sie sehr einfach und schnell den Schalldruck einer Verstärker/Lautsprecherkombination berechnen.

Beispiel: Ein Verstärker mit 80 Watt Spitzenleistung und eine Lautsprecherbox mit einem Nennschalldruckpegel von 92 dB werden uns folgende Spitzenpegel geben:

80 Watt entsprechen 19 dB auf der Skala.

$92 + 19 = 111 \text{ dB}$

Dies ist die maximal erreichbare Lautstärke.

Beispiel: Ein Schalldruck von 80 dB bezogen auf 1 Watt Eingangsleistung ist nicht selten. Berechnen wir die notwendige Verstärkerleistung:

a. Durchschnittsleistung 103 dB

Verstärkerleistung: 1 Watt für 80 dB

$103 - 80 = 23 \text{ dB}$

$23 \text{ dB} \rightarrow 200$ (Leistungsverhältnis)

Notwendige Leistung:

200 Watt für 103 dB in 1 Meter.

Zulässige Belastbarkeit

Die zulässige Belastbarkeit einer Lautsprecherbox ist die Leistung in Watt, die unter noch festzulegenden Meßbedingungen ohne Gefahr für die Lautsprecher ihrem Eingang zugeführt werden kann.

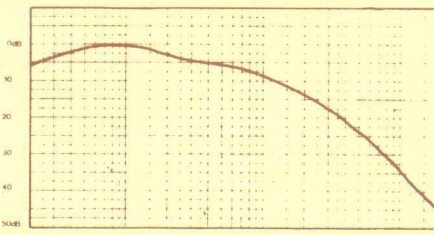
Zu oft wird Belastbarkeit und Lautstärke miteinander verwechselt. Wir haben eben gesehen, daß die Lautstärke nur von der angelegten Leistung und dem Nennschalldruckpegel abhängt.

Es bleibt noch zu erläutern, welcher Wert nicht überschritten werden darf, um den Qualitäten der Lautsprecher Rechnung zu tragen.

Lautsprechersysteme haben bewegliche Membranen. Ihre Bewegung wird durch eine Spule erzeugt, durch welche ein Strom fließt, und zwar nicht immer mit gleicher Stärke, sondern in Abhängigkeit von der Frequenz und der Leistung mehr oder weniger groß.

Die sog. Schwingspule der Tiefton-Lautsprecher ist größer als die für die Hochtöner. Die für die große Spule zulässige Strommenge ist also höher. Es handelt sich dabei einfach um ein thermisches Problem. In unserer Analyse der Appassionata haben wir festgestellt, daß das allgemeine Klangvolumen je nach Höhen und Tiefen sehr unterschiedlich sein kann. Das Verhältnis kann von 1 bis 1.000 gehen.

Diese Tatsachen wurden bei der Erstellung der Norm DIN 45 573 berücksichtigt.



Die Kurve stellt das Frequenzspektrum dar, das man einer Laut-

sprecherbox 3 Stunden lang ohne Beschädigung zuführen können muß. Die Modulation wird dem Test eine Minute lang angelegt und dann zwei Minuten lang unterbrochen.

Instrumentalmusik

Die Kurve entspricht dem Spektrum der Instrumentalmusik. Eine derartige Modulation kann also ohne Unterbrechung an ihre Lautsprecherbox gelegt werden, je nach dem Wert der zulässigen Dauerbelastbarkeit, die in den technischen Daten angegeben ist. Für die Spitze kann dieser Wert bei guten Geräten mit 3 multipliziert werden.

Elektronische Musik

Nehmen wir an, daß bei der Pop-Musik sich Tiefen und Höhen innerhalb eines Lautstärke-Verhältnisses von 1 zu 2 bewegen.

Wenn Sie an ihre Lautsprecherbox die vorgesehene Leistung legen, wird ihrem Hochtöner die 100- bis 500fache elektrische Leistung zugeführt. Die Schwingspule wird sich stark überhitzen. Der Lautsprecher wird innerhalb weniger Minuten durchbrennen. Wenn Sie derartige Musikaufnahmen hören wollen, muß die Belastbarkeit Ihrer Lautsprecherboxen über der Nennleistung des Verstärkers liegen, es sei denn, Sie stellen Ihren Verstärker nicht auf volle Lautstärke ein.

Um auf unsere Sonate zurückzukommen, so haben wir im vorangehenden Kapitel einige Werte für Leistungen und Lautstärken ermittelt.

Nun kommen wir auf die erzielte Lautstärke bei Stereowiedergabe zu sprechen. In diesem Fall haben wir zwei Verstärker und zwei Lautsprecherboxen. Die Lautstärke ist also doppelt so groß. Einem Leistungsvergleich von 2 entspricht ein Wert von 3 dB.

Beispiel: Nehmen wir an, daß die drei folgenden Fälle vorliegen:

a. Wir besitzen einen Verstärker und möchten dazu eine Lautsprecherbox kaufen (Daten des Verstärkers: Nennleistung 35 Watt, 90 Watt Spitzenleistung).

b. Wir haben uns für eine Lautsprecherbox entschieden (Dauerbelastbarkeit 100 Watt, 250 Watt Spitzenbelastbarkeit, Nennschalldruckpegel 83 dB für 1 Watt in 1 Meter Abstand).

c. Die gleiche Lage für eine andere Lautsprecherbox mit 30 Watt Dauerbelastbarkeit, 90 Watt Spitzenbelastbarkeit und 96 dB Nennschalldruckpegel. Kommen wir auf unsere Skala Leistungsverhältnis und dB zurück.

a. Verstärker 35 Watt Nennleistung und 90 Watt Spitzenleistung. Wir suchen nun die bei einem Watt Leistung erreichte Lautstärke: Dem Verhältnis 90 entspricht 19,5 dB.

$115 - 19,5 = 95,5$ Watt für 1 Watt
Also in Stereo:

$$95,5 - 3 = 92,5 \text{ dB.}$$

Wir brauchen eine Lautsprecherbox mit 92,5 dB Nennschalldruckpegel und 90 Watt Spitzenbelastbarkeit, also ca. 30 Watt zulässige Dauerbelastbarkeit.

Diese 30 Watt ergeben bei 92,5 dB Nennschalldruckpegel

$$1 \text{ Watt für } 92,5 \text{ dB} \\ 30 \rightarrow 15 \text{ dB}$$

$92,5 + 15 + 3$ (Stereo) = 110,5 dB. Wir erreichen eine Lautstärke von 110,5 dB. Dies liegt weit über der vom Klavier geforderten Lautstärke. In dynamischer Hinsicht ergeben sich also keinerlei Probleme. Die anderen Daten bleiben noch nachzuprüfen.

b. Lautsprecherbox:

Nennschalldruckpegel 83 dB, Dauerbelastbarkeit 100 Watt, Spitzenbelastbarkeit 250 Watt.

Welcher Verstärker wird benötigt?

$$1 \text{ Watt für } 83 \text{ dB} + 3 = 86 \text{ dB.}$$

$115 - 86 = 29 \text{ dB}$ (um die Spitze der Fortissime reproduzieren zu können). 29 dB \rightarrow 794 als Leistungsverhältnis. Unser Verstärker muß also 794 Watt Spitzenleistung aufbringen.

Die Lautsprecherbox ist mit 250 Watt belastbar. Das ist also keine Lösung. Sie sehen hier, daß eine Lautsprecherbox, die von vielen als gut betrachtet wird, da sie eine "sehr starke Leistung besitzt", in Wirklichkeit für eine echte HiFi-Wiedergabe nicht geeignet ist.

c. Lautsprecherbox:

Nennschalldruckpegel 95 dB, 30 Watt Dauerbelastbarkeit und 90 Watt Spitzenleistung.

$$1 \text{ Watt für } 95 \text{ dB} + 3 \text{ (Stereo)} = 98 \text{ dB.} \\ 115 - 98 = 17 \text{ dB.}$$

17 dB \rightarrow 50 als Leistungsverhältnis. Es werden also 50 Watt Spitzenleistung benötigt. Unsere Lautsprecherbox ist bis zu 90 Watt in der Spitze belastbar, bietet also sogar noch eine Reserve.

$$1 \text{ Watt für } 95 \text{ dB} + 3 = 98 \text{ dB} \\ 103 - 98 = 5 \text{ dB}$$

5 dB \rightarrow 3,16 als Leistungsverhältnis. Es werden 3,16 Watt Nennleistung für die ff benötigt.

Ein guter Verstärker mit 80 Watt Spitzenleistung und 30 Watt Nennleistung würde also vollkommen ausreichen.

Zusammenfassung:

Die notwendige Spitzenbelastbarkeit der Lautsprecherbox ist nach der Verstärkerleistung zu bestimmen. Vor allem muß der Nennschalldruckpegel der Lautsprecherbox bekannt sein, und nach ihr ist festzustellen, ob die Kombination Verstärker/Lautsprecherboxen die für Spitzen- und Dauerbelastbarkeit gewünschte Lautstärke erzeugen kann.

Eine Lautsprecherbox von 200 Watt ist nicht unbedingt leistungsfähiger als eine andere von 20 Watt. Nur die Kombination Verstärker-Lautsprecherbox, deren Nennschalldruckpegel bekannt ist, zählt. Für die Pop-Musik müssen wesentlich höhere Dauerbelastbarkeiten gewählt werden, wenn vermieden werden soll, daß die Hoch- und Mitteltöne beschädigt bzw. zerstört werden.

Wahl der Verstärkerleistung

Wir werden hier nur von der Wahl der Verstärkerleistung sprechen. In Wirklichkeit gibt es nur gute oder schlechte Verstärker, ganz gleich, wieviel sie kosten. Die wesentlichsten Preisunterschiede liegen in der Höhe der Ausgangsleistung und gewissen, oft überflüssigem Bedienungskomfort.

Es verdient festgehalten zu werden:

1. Was die Leistung einer HiFi-Anlage kennzeichnet, ist deren akustische Leistung.

2. Die Leistung der Anlage kann nicht nur an der Leistung des Verstärkers gemessen werden. Erst in Verbindung mit dem Wirkungsgrad ist eine Aussage möglich.

Die Dauerbelastbarkeit einer Lautsprecherbox ist nicht mit der akustischen Leistung zu verwechseln, die sie erzeugen kann.

Nehmen wir an, daß ein Verstärker folgende Kenndaten besitzt: Nennleistung 50 Watt, Spitzenleistung 150 Watt, Sättigungsleistung 140 Watt. Wir finden hier einen neuen Begriff: die Sättigungsleistung, die anders als die Spitzenleistung eine Dauerleistung darstellt. Dies ist die Leistung, ab welcher sich der Verstärker sättigt, d.h. begrenzt. Das Gleichgewicht des Originalspektrums in seinen verschiedenen Frequenzbereichen ist nicht mehr gewahrt. Das Originalverhältnis Tiefen zu Höhen besteht nicht mehr, die Lautsprecher für die Mittellagen und Höhen erhalten eine viel zu hohe Leistung, sie können beschädigt werden. Aus der Problemstellung ergibt sich also eine Wahl. Und auch hier müssen Sie die Gesamtheit der technischen Daten berücksichtigen.

Beispiele für mögliche Kombinationen

a. Verwendung des Verstärkers ohne Vorsichtsmaßnahme.

Sie laufen Gefahr, Ihren Verstärker zu sättigen, Sie möchten problemlos die Lautstärke einstellen, die Sie interessiert, ohne Gefahr für Ihre Lautsprecher. Die Beziehung zwischen der Nennleistung des Verstärkers und der zulässigen Belastbarkeit der Lautsprecherboxen muß 3 betragen. D.h., daß Sie für einen 20 Watt-Verstärker Lautsprecherboxen von 60 Watt benötigen.

b. Sie möchten klassische Musik hören und wissen, daß Sie Ihren Verstärker nicht sättigen werden. In diesem Fall ist es durchaus möglich, einen Verstärker und Lautsprecherboxen mit der gleichen Leistung bzw. Belastbarkeit zu verwenden.

c. Sie möchten die Dynamik voll ausspielen. Jeder Paukenschlag, jedes Fortissimo muß für Sie ohne jegliche Einbuße eingehalten werden, wollen Sie eine Reproduktion naturgetreu erleben. Sie können einen leistungstärkeren Verstärker wählen als Ihre Lautsprecherboxen. Jede Spitze wird problemlos verarbeitet. Aber hüten Sie sich vor Demonstrationen von Pop-Musik (oder vor allen Aufzeichnungen, die von Tonmischeinrichtungen oder rein elektronisch hergestellt wurden). Wenn die Höhen auf dem gleichen Pegel liegen wie die Tiefen, und wenn sie an der Grenze der zulässigen Belastbarkeit angelangt sind, dann besteht große Gefahr, daß der Hochtoner der Beanspruchung nicht standhält.

In diesem Stadium der Untersuchung der technischen Daten möchten wir an unser Vorwort erinnern: alle Kennkurven hängen miteinander zusammen. Eine Lautsprecherbox muß eine gute Schalldruckkurve besitzen, um die Gesamtheit des Tonspektrums reproduzieren zu können (Tonleiter und Obertöne), eine möglichst ge-

geringe Richtwirkung, damit man die Wiedergabe an mehreren Stellen des Raumes anhören kann, eine ausreichende Belastbarkeit, einen entsprechenden Wirkungsgrad (Nennschalldruckpegel), um je nach Verstärkertyp den Schalldruck wiederzugeben, der den

aufgezeichneten Instrumenten und vor allem ihrer Dynamik entspricht. Sie stellen damit sofort fest, daß Lautsprecherboxen mit mindestens 90 dB Nennschalldruckpegel eine zwingende Notwendigkeit sind.

Berechnung der erforderlichen Verstärkerleistung in Stereo, um einen normalen Schalldruck von 103 dB und 115 dB Schalldruck für die Spitzenleistung zu erreichen.

	Nenn-Schalldruckpegel (für 1 Watt in 1 Mtr. Abstand, in dB)	Nennleistung des Verstärkers pro Kanal, in Watt	Spitzenleistung des Verstärkers pro Kanal, in Watt	
Für einen Schalldruckpegel von 115 dB, also 115 - 3 = 112 dB p.Kanal	95	17	50	problemlose Zone
	92	35	100	
	90	55	160	
	88	85	250	Grenzzone
	86	130	400	
	83	264	800	unmöglich
	80	500	1600	
	76	1300	3900	
	73	2500	7500	
	70	5000	15000	

Impedanz

Die Impedanz in einem Wechselstromkreis entspricht dem Widerstand in einem Gleichstromkreis. Hier haben wir es mit einem Wechselstrom veränderlicher Frequenz zu tun.

Die Impedanz ändert sich mit der Frequenz.

Die Nennimpedanz einer Lautsprecherbox ist ihre Mindestimpedanz. Es seien hier zwei wichtige Punkte vermerkt:

1. Die Lastimpedanz des Verstärkers muß ebenso groß oder kleiner als die der Lautsprecherboxen sein.
2. Es dürfen nie mehrere Lautsprecher nacheinander geschaltet werden.

Der innere Widerstand des Verstärkers ist normalerweise gering, um den Lautsprecher zu dämpfen (dämpfen: Eigenschwingungen der Membran verhindern).

Wenn Sie zwei Lautsprecherboxen hintereinander schalten, erhöhen Sie den Widerstand. Die Eigenschwingungen werden ebenfalls vermehrt. Das gleiche Problem tritt auf, wenn die Anschlußkabel zu lang oder zu dünn sind. Ihr Wider-

stand ist groß.

Wenn Sie Lautsprecherboxen parallel schalten wollen, ist unter Anwendung der nachstehenden Formel zu verfahren:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}$$

R = Gesamtimpedanz

R1 = Impedanz der ersten Lautsprecherbox

R2 = Impedanz der zweiten Lautsprecherbox.

Beispiel: Ein Verstärker besitzt eine Nennimpedanz von 4 Ω.

Wir möchten, daß er auf jedem Kanal 2 parallel geschaltete Lautsprecherboxen von je 8 Ω ansteuert. Die für diese beiden Lautsprecherboxen erzielte Impedanz wird betragen:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4}$$

Daher: R = 4 Ω

Man kann diese Schaltung vornehmen, ohne daß man Gefahr läuft, die Endstufe des Verstärkers zu zerstören. In der Tat ist die für den Verstärker gegebene Lastimpedanz gleich mit der des angesteuerten Systems.

Impulsverarbeitung

Die Impulsverarbeitung ist die Fähigkeit einer Lautsprecherbox, ein plötzlich auftretendes kurzes Signal ohne es zu verformen und ohne ein Ausschwinggeräusch zu erzeugen, wiederzugeben.

In unserem Beispiel ist das der Augenblick des Aufschlagens der Hämmer auf die Saiten.

Leider gibt es zur Zeit keine Normen, welche diese Fähigkeit und das Ausschwingverhalten zahlenmäßig bewerten. Außerdem stell-

te sich heraus, daß Messungen mit dem Oszilloskop nicht empfindlich genug sind, um diese Qualitäten zu bestimmen. Das Ohr erwies sich gegenüber den meisten Meßinstrumenten als wesentlich empfindlicher für diese feinen Nuancen.

Anordnung der Lautsprecherboxen

Die Anordnung der Lautsprecherboxen ist ganz besonders wichtig. Von ihr hängt Ihr Hörerlebnis und die Gesamt-Wiedergabequalität ab. Es nützt nichts, Lautsprecherboxen ausgezeichneter Qualität zu besitzen, wenn die Qualität durch Fehler beeinträchtigt wird, die leicht zu vermeiden sind.

Der Stereoeffekt

Er wird durch Wiedergabe von zwei Modulationen erzielt, die über zwei Mikrofone aufgenommen werden. Diese beiden Mikrofone trennen das Klanggeschehen in zwei unterschiedliche Signale auf, die so exakt wie möglich über zwei getrennte Kanäle wiederzugeben sind.

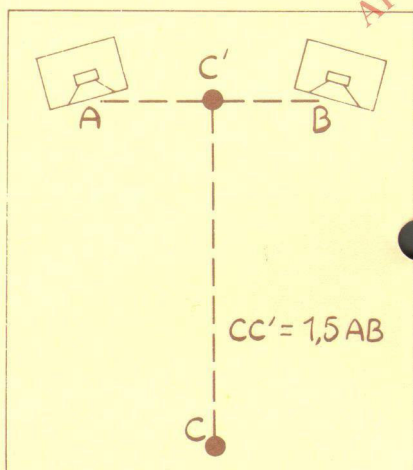
Die Stereophonie entspricht für das Gehör der Stereoskopie für das Auge. Wenn man zwei Bilder durch ein Stereoskop betrachtet, wird das Bild plastisch. Das gleiche gilt für die Stereophonie. Die Töne werden von links und rechts aber auch in Tiefen wiedergegeben. Und das ist wesentlich. Ihrem linken Kanal entspricht das linke Mikrophon, und umgekehrt. (Es sei hier vermerkt, daß mit links die Lautsprecherbox gemeint ist, die sich auf Ihrer linken Seite befindet, wenn Sie sie ansehen).

Im allgemeinen ist zu vermeiden, die Lautsprecherboxen wie folgt aufzustellen:

- direkt in den Ecken des Raumes, da ein Ansteigen der tiefen Frequenzen die Folge sein kann.
- in gleicher Ausrichtung; sie sollten auf den Hörpunkt zu ausgerichtet sein,
- an der Wand. Die ideale Position setzt mindestens einen Meter Abstand von sämtlichen Wänden voraus.

Außerdem ist darauf zu achten: – daß sich der Hörer in einer Entfernung befindet, die etwa eineinhalbmal so groß ist wie der Abstand zwischen den beiden Lautsprecherboxen.

In diesem Fall finden Sie den genauen Platz eines jeden Instrumentes des Orchesters wieder, sowohl in der Richtung rechts-links, als auch in der Tiefe, was das Gefühl einer ganz außergewöhnlichen Unmittelbarkeit vermittelt.



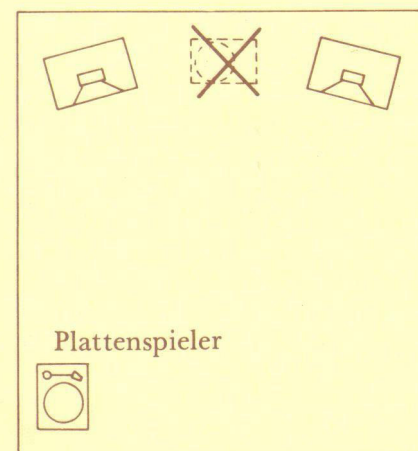
– daß die Lautsprecherboxen so aufgestellt werden, daß die Töne im Raum in Längsrichtung ausgestrahlt werden,

– daß die Lautsprecherboxen in einer Höhe von ca. 40 bis 50 cm über dem Boden placiert werden, damit der Schall so direkt wie möglich an Ihr Ohr gelangt. Diese Anordnung mildert auch bestimmte Raumresonanzen, die durch Bodenreflexionen hervorgerufen werden können,

– daß nicht nur architektonisch-ästhetische Kriterien berücksichtigt werden, sondern die ideale Position durch mehrere Versuche ermittelt wird,

– Ihr Plattenspieler nicht in gleicher Flucht mit Ihren Lautsprecherboxen aufgestellt ist. Der dabei entstehende Larsen-Effekt wirkt sich auf die Hörqualität aus. Außerdem sollte der Standort eine sehr stabile, horizontale Ebene sein.

In allen Fällen sollten Sie sich darüber im klaren sein, daß Ihr Raum die Lautsprecherbox beeinflusst. Sie sollten deshalb all diese kleinen Hinweise beachten.



Servosteuerung

Wie wir gesehen haben, ist es nicht einfach, die optimale Kombination Vorverstärker/Leistungsverstärker/Lautsprecherbox zu finden. Neben den Qualitätsmerkmalen kann sich ein Fehler in der Beurteilung des Wirkungsgrades der Lautsprecherbox oder der Leistung des Verstärkers verheerend auswirken.

Es gibt auch noch andere Probleme. Bei einem Dreiweg-System führt ein passiver Filter (die sog. Frequenzweiche), der in der Lautsprecherbox eingebaut ist, die entsprechenden Frequenzen jedem der drei Lautsprechersysteme zu. Daraus können sich gewisse Schwierigkeiten bei den Übergangsfrequenzen ergeben. Das ist ein erster Punkt.

Im Kapitel Impedanz haben wir darauf hingewiesen, daß sich die Impedanz mit der Frequenz ändert. Es ist also schwierig, eine Frequenzweiche mit konstanten Werten zu planen, die bei differierenden Impedanzen arbeiten

soll. Die Impedanz schwankt nicht nur im Rahmen der gesamten Lautsprecherkombination, sondern auch bezogen auf die einzelnen Lautsprechersysteme. Dazu kommen die erheblichen Frequenzunterschiede in den Höhen und Tiefen.

Cabasse hat schon 1958 Lautsprecherboxen entwickelt, bei denen jedes Lautsprechersystem direkt über einen eigenen Verstärker versorgt wird.

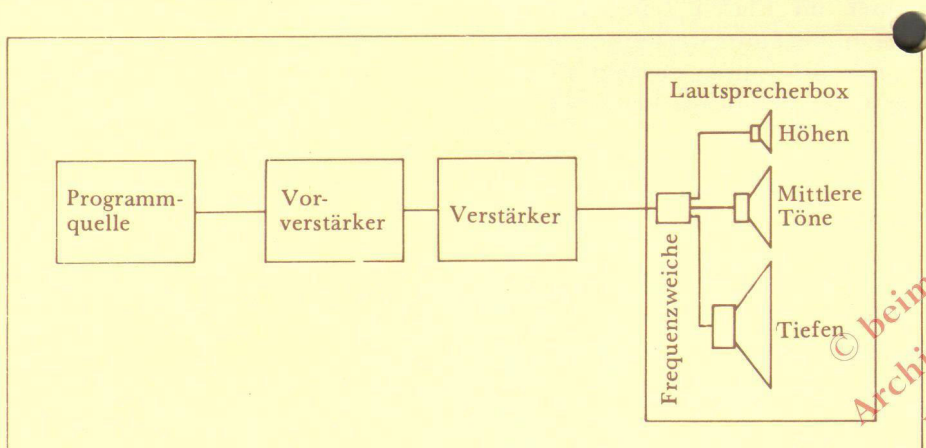
Im Prinzip einfach, in der Praxis jedoch außerordentlich diffizil. Die Programm-Signale werden einem Vorverstärker zugeführt, dem ein elektronischer Filter

nachgeschaltet ist. Dieser ist impedanzunabhängig und kann genau bei einer festgelegten Übergangsfrequenz trennen. Der Filter wird den Frequenzbereich in drei Bereiche aufteilen (im Falle unserer drei Kanäle). Jeder dieser Teilbereiche wird nun den 3 Verstärkern zugeführt.

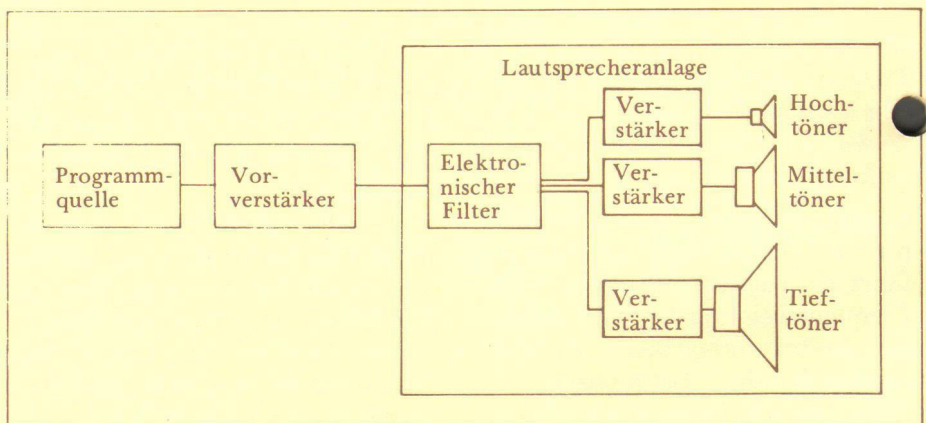
Die Vorzüge einer derartigen Konzeption liegen auf der Hand. Die

elektronische Anpassung und jeder Verstärker können individuell in Abhängigkeit zum zugeordneten Lautsprechersystem und der Lautsprecherbox eingepegelt werden. Jede Verstärker/Lautsprecher-Einheit arbeitet im Bereich seiner optimalen Eigenschaften.

Blockschaltbilder Passives und aktives System



1. Passives System



2. Aktives System mit getrennten Verstärkern

(1958) waren die Verstärker mit Röhren bestückt und die Verstärker/Filter-Einheit war außerhalb der Lautsprecherbox angebracht.

Heute werden die Servo-Lautsprecheranlagen von Cabasse mit integrierten Verstärkern hoher Leistung bestückt).

Der weitere Vorteil eines aktiven Systems ist die Möglichkeit der Servosteuerung des Tieftöners.

Ein Lautsprecher besteht, wie wir gesehen haben, aus einer von einem Antriebssystem bewegten Membran. Dieses Antriebssystem besteht aus einem Magneten und einer Spule, durch welche ein vom Verstärker erzeugter Strom fließt.

Denken wir an eine Trommel: durch Anschlagen der Membran wird ein Ton erzeugt, der immer nahezu gleich klingt: er liegt im Bereich Schwingungsfrequenz der Trommel. Auch im Lautsprecher

gibt es eine sogenannte Resonanzfrequenz. Wenn diese eine nicht definierte Frequenz in dem vom Lautsprecher reproduzierbaren Frequenzbereich ist, wird sie Verfälschungen nach sich ziehen. Diese Resonanzfrequenz wurde darum so tief wie möglich gewählt, deutlich unterhalb des vom System reproduzierbaren Frequenzbereiches (in gewissen Lautsprecherboxen ist die Resonanzfrequenz zu hoch; daraus ergibt sich dann ein sogenanntes „Faßgeräusch“, von dem wir im Kapitel Klangfarben sprachen).

Ein Lautsprecher darf also nur die Töne wiedergeben, mit deren Modulation er angesteuert wird. Das ist theoretisch. Es ist sicher, daß Störfrequenzen vorhanden sind und mögen sie auch noch so klein sein. Außerdem ist zu wissen, daß die Tiefenfrequenzen ohnehin sehr schwierig wiederzugeben sind. Aufgabe der Servosteuerung ist es, diese Fehler zu korrigieren.

Auf der Membran ist eine Art Fühler angebracht, der die eventuell auftretenden unkontrollierten Membranbewegungen ertastet und die Daten dem Elektronikfilter zuführt. Augenblicklich vergleicht der Filter das vom Verstärker abgegebene Signal mit der daraus entstandenen Membranbewegung. Er korrigiert den Verstärker und damit die Membranbewe-

gung. Das Ergebnis: starke Reduzierung des Klirrgrades und ein besserer Frequenzgang im unteren Frequenzbereich. Bei den servogesteuerten Lautsprecherboxen von Cabasse wird eine echte elektroakustische Servosteuerung angewendet, deren Vorzüge im Abtasten der augenblicklichen Geschwindigkeit und der Beschleunigung der Membran liegen. Diese Methode ist das Forschungsergebnis der Cabasse - Laboratorien.

Das Prinzip

Das vom Lautsprecher abgestrahlte akustische Signal ist in Wirklichkeit nicht als treues Abbild des an den Verstärker gelegten elektrischen Signals zu betrachten. Die passiven Filter (Frequenzweichen) und die eigentliche Konzeption des Lautsprechersystems führen zu zahlreichen Veränderungen. Diese werden in den Berechnungen durch „Übertragungseigenschaften“ wiedergegeben. Andererseits gehen Störsignale dem Signal unmittelbar voraus. Ihre Einflüsse gehen in die Berechnungen in Form von Ausgangs-Übertragungsbedingungen ein.

Einige dieser Einflüsse sind sehr deutlich ausgeprägt: **Trägheit der beweglichen Teile** (Membran + Schwingspule + Aufhängung) (Beeinträchtigung der Übertragung), **zu schwach gedämpfte Resonanzen** (Beeinflussung und Verfälschung der benachbarten Frequenzen).

Die Kenntnis dieser Parameter gestattet es, ihre negativen Einflüsse zu reduzieren. Ihre Korrektur ist bei Passiv-Boxen nur in gewissem Umfang möglich.

Dagegen ist es bei aktiven Lautsprechersystemen möglich, diese Parameter auszugleichen. Die Lösung ist ein Servosystem.

Mögliche Lösungen:

1. **Geschwindigkeit:** man verwendet ein zur Geschwindigkeit proportionales Signal.
2. **Beschleunigung:** man untersucht die Beschleunigung der Membran.
3. **Geschwindigkeit und Beschleunigung:** das Signal ist die Summe der beiden vorangehenden.
4. **Akustik:** das scheint ideal. In der Praxis machen die Phasendrehungen eines derartigen Systems zwischen Lautsprecher und Mikrofon diese Lösung unmöglich.

Im Fall der Geschwindigkeit wird im allgemeinen nur die Brückenschaltung verwendet. Sie besitzt einen wesentlichen Nachteil: der Lautsprecher wird nur innerhalb eines sehr schmalen Bereichs wirksam gesteuert. Dieser Bereich liegt in unmittelbarer Nachbarschaft der Resonanzfrequenz, die, wie bekannt, sehr tief liegt. Man kann also in diesem Fall nur benachbarte Frequenzen korrigieren. Aber welche Lösung gibt es darüber hinaus? Man könnte die Resonanzfrequenz anheben, was aber dann wiederum zu einem Wiedergabeverlust der Frequenzen führt, die unterhalb dieser Resonanzfrequenz liegen. Man könnte auch einen sehr leistungsstarken Verstärker für den Tieftöner verwenden, die dabei entstehende große Verzerrung würde die Vorteile des Systems jedoch wieder zunichte machen. Eine Korrektur der sehr niedrigen Frequenzen für die Geschwindigkeitssteuerung ist jedoch unabdingbar.

Im Fall einer reinen Steuerung der Membran-Beschleunigung ist der Abtaster auf dem Membran

montiert. Form und Montage sind sorgfältig ausgeführt, um die Eigenqualitäten des Lautsprechersystems nicht zu beeinträchtigen. Der Lautsprecher wird abgeändert, um seine Funktion über seinen Frequenzbereich hinaus zu vergrößern. So entspricht das erastete Signal exakt der Beschleunigung der ganzen Membran. Das Signal wird dann in den Korrekturkreisen so aufbereitet, daß damit gute Übertragungseigenschaften gewährleistet sind.

Diese Servosteuerung kann im gesamten Übertragungsbereich des Lautsprechersystems eingesetzt werden.

Wenn man die Servosteuerung der Beschleunigung mit der Geschwindigkeitsservosteuerung kombiniert, verwendet man das erste Signal in Rückkopplung im oberen Teil des Frequenzbereiches, und das zweite im besonders kritischen unteren Bereich.

Was den elektronischen Teil betrifft, so sind die Lautsprecherboxen der Serie "VTA" mit direkt gekoppelten Leistungsverstärkern ausgerüstet (also als Gleichspannungsverstärker ausgelegt), die die Schwingspulen der Lautsprecher kondensatorlos ansteuern. Das ist für jeden angesteuerten Lautsprecher unbedingt notwendig. Auch für die Mittel- und Hochtonbereiche ergeben sich Vorteile, da die Dämpfung bei niedrigen Frequenzen verbessert und Zwischenmodulationerscheinungen reduziert werden.

Der Elektronikfilter ist mit rauscharmen integrierten Schaltungen ausgerüstet, die sorgfältig selektiert wurden, um eine einwandfreie Stabilität im Dauerbetrieb zu garantieren. Berücksichtigt man den großen Verstär-

kungsfaktor im sehr tiefen Frequenzbereich, der vom Servosteuerungssystem gefordert wird, ist diese Stabilität unentbehrlich. Letzten Endes gibt es also mehrere mögliche Systeme. Die meisten haben erhebliche Nachteile, der

größte darunter ist die sehr schwierige Justage. Die Cabasse-Servosteuerung ist nicht mit den einfachen Brückenschaltungen zu verwechseln, deren wesentliche Fehler aufgezeigt wurden.

Produktion und Meßmethoden bei Cabasse-Lautsprecherboxen

Produktion

Die vorangehenden Seiten haben Ihnen das Ziel des Cabasse-Teams vor Augen geführt: Herstellung von Spitzenprodukten.

Die Mittel?

– Zwei schalltote Räume. Einer davon ist mit 2000 Kubikmeter der größte in der Welt, der für Forschungen auf dem Gebiet der High Fidelity verwendet wird. Schalltote Räume mit kleineren Abmessungen gestatten keine Messungen bei tiefen Frequenzen, ermöglichen es also nicht, für diesen in einer naturgetreuen Wiedergabe so wichtigen Frequenzbereich zu arbeiten und entsprechende Erkenntnisse zu bekommen.

– In Verbindung mit dem schall-

toten Raum eine besonders aufwendige Meßausrüstung, teilweise von den Cabasse-Spezialisten entwickelt und gebaut und dafür bestimmt, sowohl über Oszillographen als auch Pegelschreiber Frequenz-, Impedanz-, Verzerrungs-, Nachhall- und Phasenkurven aufzuzeichnen.

– Ingenieure, die sich ausschließlich der Forschung widmen, ohne vorherige Zieleingrenzung sich eines wissenschaftlichen Computers bedienen, der mit einem automatischen Zeichentisch gekoppelt ist.

– Eine Tonvergleichsmethode, Anwendung des konkreten Beispiels, das wir im ersten Kapitel

beschrieben haben. Es ist unentbehrlich, Messungen durchzuführen, ein gutes Gehör ist aber gleichermaßen wichtig. Leider haben Hörtests aufgrund des geringen Gedächtnisses des Ohres nur Wert bei einem direkten Vergleich mit einer Bezugsquelle. Um z.B. zu wissen, ob eine Lautsprecherbox den Klang einer Geige gut reproduziert, muß ein Geiger direkt abwechselnd mit der Lautsprecherbox spielen, wobei diese die vorher aufgenommene Geige wiedergeben muß. Jede andere Methode ist subjektiv und es gibt zuviel veränderliche Größen, um sich auf sie verlassen zu können. Eine peinlich genaue, langwierige Arbeit. Diese Methode wird verwendet, um jede neue „Verbesserung“ durch das Cabasse-Labor nachzuprüfen. Diese „Tests auf Herz und Nieren“ gestatten es oft, Theorien oder abstrakte Rechnungen in Frage zu stellen, welche Ausgangspunkt dieser Verbesserungen waren.

– Ein Herstellungspotential mit doppeltem Ziel: einerseits eine Präzision, die weit über der der Uhrenindustrie liegt, andererseits für gewisse Teile wie die Antriebs-elemente eine Robustheit, die zu einer Tradition geworden ist. So wird bei den Magneten mit Hilfe von Präzisions-Meßinstrumenten jedes geschmiedete Rohteil gedreht, gemessen und auf 1/100 Millimeter Toleranz gefertigt.

Es sei ganz besonders darauf hingewiesen, daß Cabasse seine Lautsprecher vom Anfang bis zum Ende eigenständig entwickelt und produziert.

Dieser Hersteller ist wahrscheinlich der einzige, der ohne Ausnahme eigene Werkstätten für die Gehäuseproduktion, der Verstärker und Servosysteme, Elektro-

lyse für die Verchromung sowie Cadmierung und Eloxierung besitzt. Dies gilt besonders für die Lautsprechersysteme mit den Magnetisierungswerkstätten für Magnete und deren Montage. Eine Qualitätskontrolle in allen Stufen, die bis zum Aufzeichnen der Kurven einer jeden Lautsprecherbox geht, erlaubt es Cabasse, eine außergewöhnliche Garantie zu geben.

Und die Ergebnisse?

– Eine Cabasse-Qualität die zur Legende geworden ist. Man ist überrascht über das Aussehen eines Tieftöners. Zunächst sein Gewicht: Das Antriebs-element allein wiegt über 12 kg. Wenn man sich bewußt wird, daß ein solcher Lautsprecher komplett in den Cabasse-Werken gefertigt wird, bis zum Magneten, der sogar selbst verchromt wird, so kann man sicher sein, daß nichts dem Zufall überlassen bleibt und daß das Betreiben nach Qualität vor allen anderen finanziellen oder kommerziellen Betrachtungen steht.

– Erfolge der Kalotten-Lautsprechersysteme und VTA-Lautsprecheranlagen (Aktiv-Boxenserie).

– Eine Fertigung von Lautsprecherboxen, die auch dann von höchstem Können zeugt, wenn man ins Detail geht. Auch die kostengünstigsten Boxen werden mit der gleichen Sorgfalt gearbeitet und unterliegen den gleichen Prüfungen und Qualitätskontrollen.

– In einem Wort, Cabasse ist nicht nur ein Stück Industrie. Cabasse ist der Erfolg eines Teams von Handwerkern. Handwerk im vornehmen Sinne des Wortes, Meister dessen, was sie schaffen, was ihr Markenzeichen trägt.

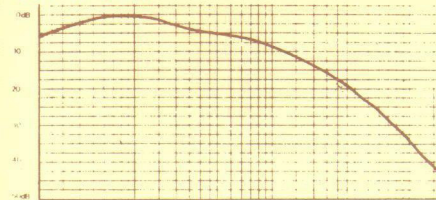
Meßmethoden für Lautsprecherboxen

Übertragungsbereich

Alle Frequenzgänge die von Cabasse veröffentlicht werden, werden in unserem schalltoten Raum mit einem Volumen von 2.000 m³ ermittelt, (auf die Gründe dafür kommen wir noch zu sprechen). Um den Frequenzgang einer Lautsprecherbox aufzuzeichnen, wird diese im schalltoten Raum aufgestellt. Ein sinusförmiges Signal wird an ihren Eingang gelegt. Dieses Signal entspricht einer elektrischen Leistung von 1 Watt am Eingang, die Frequenz variiert zwischen 20 und 20.000 Hz. Der von der Lautsprecherbox abgegebene Schalldruck wird von einem geeichten Mikrofon aufgenommen, das in 1 m Entfernung in der 0°-Achse der Lautsprecherbox aufgestellt wird. Das vom Mikrofon erzeugte elektrische Signal wird über Meßverstärker geleitet und gestattet die Aufzeichnung des Frequenzganges der Lautsprecherbox. Diese Kurve entspricht der Amplitude des von der Lautsprecherbox in Abhängigkeit von der Frequenz abgegebenen Schalldrucks.

Diese Amplitude wird in Dezibel gemessen. Man muß sich beim Bewerten doch vor möglichen Deutungsfehlern hüten. Wir werden darauf in den nächsten Abschnitten zurückkommen. Für die mit Kalotten-Systemen ausgerüsteten Lautsprecherboxen geben wir den Frequenzgang zusätzlich für 30° und 45° Einfallswinkel an, um damit zu dokumentieren, wie gleichmäßig die Schallabstrahlung verläuft. In der Tat ist dies einer der großen Vorteile unserer Kalotten-Systeme. Über einen großen Abstrahlwinkel gesehen verläuft die Schalldruckkurve außerordentlich gleichmäßig.

Zusammenfassung der Norm
DIN 45 573.



Das Geräusch, das zur Messung der Belastbarkeit dient, weist bei jeder Frequenz eine aus der obigen Kurve ersichtliche Amplitude auf.

Dieses Geräusch erhält man durch Filterung eines Rosarauschens. Die Lautsprecherbox muß die zugeführte Leistung 300 Stunden ertragen können, wobei das Signal eine Minute lang angelegt und zwei Minuten lang unterbrochen wird.

Die nach DIN angegebene Nennbelastbarkeit bedarf eines Kommentares.

1. Die Zahlen, die die Nennbelastbarkeit angeben, bedeuten nicht, daß die Lautsprecherbox diese Belastung bei allen Frequenzen erträgt, die dem von der Norm definierten Bereich entspricht und während der von der gleichen Norm definierten Zeit.

2. Da diese Messung mit einem unregelmässigen Rauschen vorgenommen wird, erträgt die Lautsprecherbox sehr viel höhere Leistungsspitzen. So müssen wir für Belastungsmessungen Verstärker verwenden, die zwei bis dreimal größere Leistungen abgeben, als die gemessene Nennbelastbarkeit.

Wenn Ihre Lautsprecherbox die ganze Nennbelastbarkeit verarbeiten soll, müssen Sie einen mindestens doppelt so starken Verstärker verwenden, um die Signalspitzen, d.h. die Dynamik, nicht zu beschneiden.

3. Da andererseits die Belastbarkeit mit einem genau definierten Rauschspektrum ermittelt wird (das einem Musiksignal entspricht), ist zu beachten, daß bei Sättigung unseres Verstärkers das Frequenzspektrum nicht mehr das gleiche ist. In diesem Fall werden die Lautsprecher in den Mittel- und Hochtonlagen sehr viel größeren Leistungen ausgesetzt, als sie von der Norm vorgesehen sind, woraus sich die Gefahr einer Beschädigung der Lautsprechersysteme ergibt. Wenn man also Lautsprecherboxen mit Gefahr einer Sättigung des Verstärkers hoch belasten möchte, empfiehlt es sich, einen Verstärker mit einer Leistung zu verwenden, die unter der Nennbelastbarkeit liegt, wenn eine Beschädigung der Lautsprechersysteme sicher vermieden werden soll.

Bewertung der Kennkurve einer Lautsprecherbox

Wir haben die Methoden aufgezeigt, die dazu dienen, die Kenndaten unserer Lautsprecherboxen zu beziffern. Jedoch weisen wir darauf hin, daß wir nicht alle Daten einer Lautsprecherbox angeben haben und daß die anderen Messungen, welche von uns an den Lautsprecherboxen vorgenommen werden, in einem Prospekt schwer zu beziffern sind. Außerdem entsprechen diese Messungen keiner präzisen Norm und sind also zwecklos für den Vergleich mit Daten der Boxen anderer Hersteller. Wir haben es vorgezogen, die Daten zu veröffentlichen, die von anderen Herstellern unter gleichen Normbedingungen ebenfalls veröffentlicht werden können. Wir werden nicht nur erläutern, welche Interpretationsfehler bei der Bewertung von Daten einer Lautsprecherbox gemacht werden können, sondern auch die Gründe angeben, warum wir gewisse Daten nicht veröffentlichen, deren sich andere Hersteller bedienen.

Schalldruckkurven

Wir haben bereits ausgeführt, daß die Frequenzgänge in einem schalltoten Raum aufgezeichnet werden. Wir ziehen diese Lösung im Gegensatz zu anderen Herstellern vor, die ihre Lautsprecherboxen in einem reflexionsarmen Raum oder im Echoraum aufzeichnen. Der reflexionsarme Raum soll theoretisch mit einem normalen Wohnzimmer vergleichbar sein. Um aber vergleichbare Messungen anstellen zu können, ist man leider dazu gezwungen, einerseits präzise Verhältnisse in bezug auf die Abmessungen dieses Raumes einzuhalten und andererseits die Dämpfung mit großer Gewissenhaftigkeit zu untersuchen. Daher erhält man letzten Endes Meßbedingungen, die sich sehr stark von denen eines normalen Wiedergaberaumes unterscheiden. Außerdem besitzt ein nachhallarmer Raum stets Resonanzen. Daher ist es unmöglich, Frequenzgänge aufzuzeichnen, die mit Sinussignalen ermittelt werden. Darum werden die Kurven mit modulierten Signalen mit einem mehr oder weniger breiten Frequenzspektrum aufgezeichnet, so daß kleine möglicherweise bestehende Störungen bei dieser

Meßmethode nicht in Erscheinung treten. Nun werden jedoch "Nachhall" oder "Färbung" einer Lautsprecherbox häufig durch kleine Fehler bedingt, die im Frequenzgang einer Lautsprecherbox zu finden sind. Außerdem ist es sehr schwer, Messungen in einem echoarmen Raum nachzuvollziehen, da die Resonanzen im Raum die Meßergebnisse erheblich beeinflussen, je nach dem Standort der Lautsprecherbox und des Mikrofons. Selbst die Abmessungen der Lautsprecherbox haben Einfluß.

Der Echoraum seinerseits hat mit einem normalen Raum nichts mehr zu tun. Es handelt sich hier um einen Raum, in dem die Töne total von den Wänden reflektiert werden. In diesem Fall besteht die Messung darin, Kurven aufzuzeichnen, die alle von der Lautsprecherbox abgegebenen Töne beinhalten, was in einem normalen Raum nicht ohne weiteres möglich ist.

Der schalltote Raum ist genau das Gegenteil eines Echoraums. Er ist so ausgelegt, daß kein Ton reflektiert wird, da die Begrenzungsflächen sehr stark dämpfend ausgelegt sind. So empfängt das Meßmikrofon nur den Ton von der Lautsprecherbox. Damit ein schalltoter Raum bei tiefen Frequenzen sehr stark dämpfend wirkt, muß er sehr groß sein. So braucht man, wenn man Messungen bei 20 Hz vornehmen will, einen schalltoten Raum von ca. 2.000 m³. Außerdem bietet ein schalltoter Raum den Vorteil, Messungen mit Sinussignalen und Messungen der Verzerrungen und des Nachhalls vorzunehmen. Diese Messungen sind in einem halbrückstrahlenden Raum unmöglich, da der Nachhall des Raumes selbst schon zu groß ist. Außerdem besitzt ein derartiger Raum Eigenresonanzen. Es ist daher unmöglich, Verzerrungsmessungen vorzunehmen, da die Einflüsse, die durch den Raum selbst verursacht werden, zu einer erheblichen Verschiebung der verschiedenen Obertöne führen wird. Die einzige Messung, die in einem echofreien Raum nicht gemacht werden kann, ist die Messung, die dem gesamten von einer Lautsprecherbox abgestrahlten Schalldruck entspricht. Man erhält ihn jedoch, indem man Kurven bei verschiedenen Einfallswinkeln aufzeichnet, dann die Ergebnisse zusammenfaßt und das mit dem Vorteil, die Gesamtmessung mit Sinussignalen vornehmen zu können.

Einer der großen Vorteile des echofreien Raumes ist es, Messungen wiederholt durchführen zu können, weil der Standort der Lautsprecherbox und des Mikrofons im schalltoten Raum die Ergebnisse praktisch nicht beeinflusst. Außerdem sind alle im schalltoten Raum vorgenommenen Messungen vergleichbar und lassen sich auf die gleiche Weise bewerten, was im echoarmen Raum nicht der Fall ist. Voraussetzung ist natürlich, daß die Messungen unter gleichen Bedingungen vorgenommen werden.

Es wird damit deutlich, daß nur ein großer echofreier Raum die Möglichkeit bietet, derartige Untersuchungen exakt durchzuführen. Die Kosten eines solchen schalltoten Raumes sind jedoch so hoch, daß unserer Kenntnis nach kein anderer Hersteller einen solchen besitzt.

Wie bereits gesagt, werden unsere Kurven mit Hilfe eines Generators ermittelt,

dessen Frequenz von 20 bis 20.000 Hz veränderlich ist. Das von den Verstärkern und den Meßmikrofonen übertragene Signal wird dann auf Papier aufgezeichnet. Bei dieser Aufzeichnung können wieder Unterschiede auftreten. Der Pegelschreiber ist ein mechanisches System, dessen Aufzeichnungsgeschwindigkeit begrenzt ist. Um jedoch alle Einzelheiten zu erhalten, ist die Frequenz sehr langsam zu ändern, und das Aufzeichnungssystem muß so schnell wie möglich sein. Außerdem muß immer der gleiche Meßbereich verwendet werden, damit die Ergebnisse vergleichbar sind.

Zulässige Belastbarkeit

Was die zulässige Belastbarkeit einer Lautsprecherbox betrifft, so ist es notwendig, neben dem eigentlichen Zahlenwert die Meßbedingungen zu kennen, d.h. das Spektrum des Signals und die Zeit, während der die Lautsprecherbox dieser Leistung ausgesetzt wurde. Dies sind zwei unbedingt zu prüfende Bedingungen. Ob die Messungen im echofreien Raum oder im echoarmen Raum durchgeführt wurden, ist in diesem Fall nicht sehr wichtig, da das Endergebnis darin nicht beeinflusst wird.

Wirkungsgrad

Wir haben im ersten Teil gesehen, wie der Wirkungsgrad beziffert wird. Es ist möglich, den Wirkungsgrad einer Lautsprecherbox auch anders zu definieren. — der Wirkungsgrad einer Lautsprecherbox kann in % angegeben werden, d.h. daß das Verhältnis eingespeister elektrischer Leistung zum abgegebenen Schalldruck. Diese Art wird in HiFi-Bereich praktisch nicht verwendet.

— eine andere Art besteht darin, die Leistung oder die Spannung anzugeben, die an den Eingang einer Lautsprecherbox zu legen ist, um einen bestimmten Schalldruck zu erzeugen (z.B. 90 dB oder 95 dB oder eine andere Größe...) — Wir unsererseits messen für eine eingespeiste elektrische Leistung von 1 Watt den von der Lautsprecherbox abgegebenen Schalldruck, z.B. 95 dB für SLOOP, gemessen in 1 Meter Abstand mit Mikrofon in der 0°-Achse der Lautsprecherbox im schalltoten Raum.

ANDERE DATEN EINER LAUTSPRECHERBOX

Die Daten, von denen wir oben gesprochen haben, sind unentbehrlich, um die Qualität einer Lautsprecherbox zu definieren, aber sie reichen nicht aus. Wir nehmen an einer Lautsprecherbox viele andere Messungen vor, um ihre Qualität zu beziffern, aber leider gibt es noch keine international festgelegten Meßvorschriften und schon gar keine Methoden, um diese Ergebnisse zu beziffern. So finden sie in bestimmten Datenblättern Angaben bzw. Abbildungen über Messungen des Ausschwingverhaltens. Diese Messungen werden natürlich auch von uns durchgeführt, sind jedoch dann schwer zu deuten, wenn nur für eine bestimmte Frequenz eine Abbildung dieses Verhaltens vorliegt. Es wäre aber notwendig, diese Meßergebnisse für den gesamten Frequenzbereich von 20 Hz bis 20.000 Hz anzugeben und nicht nur für einige feste Frequenzen. Denn es genügt, diese Frequenzen so zu wählen, daß die Ergebnisse einwandfrei sind, während sie bereits für benachbarte Frequenzen so abweichen können, daß es in diesem

Frequenzbereich zu einer starken Klangverfälschung kommt.

Solange keine Normen vorhanden sind, mit denen sich das Ausschwingverhalten (Nachhall) im gesamten Frequenzbereich von 20 bis 20.000 Hz beziffern läßt, ist es absolut illusorisch, Schirmbilder zu veröffentlichen, die sich nur auf ganz bestimmte Frequenzen beziehen.

Was die Impulsverarbeitung betrifft, so liegt genau das gleiche Problem vor, und dies aus mehreren Gründen. In der Tat ist die Impulsverarbeitung einer Lautsprecherbox von der Impulsdauer und deren Frequenzen abhängig. Man braucht nur diese Parameter zu ändern und erhält ein völlig anderes Ergebnis.

Am wichtigsten aber ist, daß wir uns nach diesen Messungen darüber im klaren sind, daß diese Impulsform noch kein Urteil über die Fähigkeit der Lautsprecherbox zulässt, andere Impulsformen gut zu reproduzieren. Wir zeigen hier zwei Schirmbilder:

Abb. 1: Impuls, wiedergegeben über eine Lautsprecherbox sehr guter Qualität.

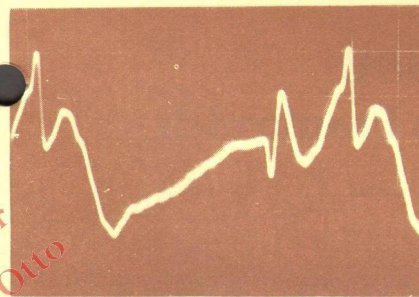
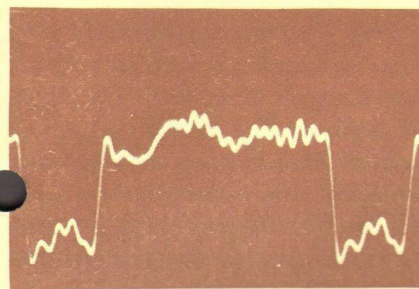


Abb. 2: Impulsverarbeitung der gleichen Lautsprecherbox, aber mit einer analogen Korrektur am Elektronikfilter, um die Impulse so einwandfrei wie möglich darzustellen. Diese Korrektur beeinflusst die anderen Parameter der Lautsprecherbox nicht.



Zunächst wäre man versucht zu sagen, daß die Lautsprecherbox von Abb. 2 besser wäre als die von Abb. 1. Aber alle musikalischen Test, die wir durchführen konnten, zeigten, daß in der Praxis überhaupt kein Unterschied zwischen dem von den beiden Lautsprecherboxentypen wiedergegebene Ton festzustellen war. Dies führt zu dem Schluß, daß das menschliche Ohr für Phasenunterschiede zwischen den Obertönen nicht empfindlich genug ist, oder daß die Meßanordnung selbst starke Phasenverschiebungen erzeugt und nur diese durch die vorgenommene Korrektur beeinflusst werden.

Wir möchten darauf hinweisen, daß unsere Erfahrungen in Widerspruch zu einer Anzahl Versuche scheinen, die in Veröffentlichungen erwähnt werden. Der Ursprung liegt sicher in der Tatsache, daß diese Versuche nie mit ein und derselben Lautsprecherbox einmal

unkorrigiert, zum anderen korrigiert durchgeführt wurden.

Außerdem ist bemerkenswert, daß die Untersuchung der Wiedergabe über Lautsprecherboxen mit dem Oszillographen (wie sie vorgenommen wird, wenn man Impulse untersucht), eine unzureichende Genauigkeit aufweist. Um gewisse Erscheinungen zu beurteilen, stellte sich in der Tat heraus, daß zwei voneinander verschiedene Töne, von denen der eine zusätzliche Anteile mit sehr schwachem Pegel beinhaltet (10.000 mal schwächer als das Hauptsignal), ein Unterschied der auf dem Oszillographen praktisch nicht dargestellt wird, vom Ohr als voneinander sehr verschieden empfunden werden (der Unterschied wird sehr schnell unhörbar, wenn diese Signale Obertöne der Hauptsignale sind). Dies berührt übrigens das Problem der Unterschiede, die man zwischen zwei Musikinstrumenten vom gleichen Typ feststellen kann, welche deutlich unterschiedlich klingen können, obwohl eine Meßanalyse der erzeugten Töne nur sehr geringe Unterschiede zeigt.

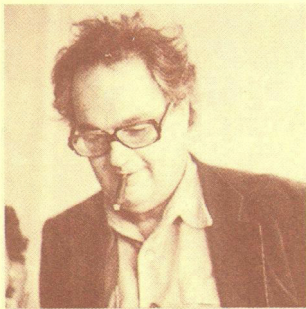
Frequenzweichen

Im gleichen Sinn gewisser Theorien von heute kann man das Problem der Frequenzweichen sehen. Man spricht in der Tat sehr oft von 6 dB/Oktave oder 12 dB/Oktave bei den Übergangsfrequenzen. Es ist durchaus richtig, daß der Filter mit 6 dB/Oktave die bestmögliche Impulsverarbeitung ermöglicht, aber nur dann, wenn die Netzwerke für den Baß- und Höhenbereich vergleichbar sind, und wenn die Belastung der Frequenzweiche durch die Lautsprechersysteme nicht frequenzabhängig wäre.

In der Praxis trifft dies jedoch nicht zu, weil sich Lautsprecher nicht wie normale Widerstände verhalten, sondern ihren Widerstandswert in Abhängigkeit von der Frequenz ändern. In Abhängigkeit von der Frequenz können sie mehr oder weniger kapazitiv oder induktiv wirken. Daher verändern sich die Übergangsfrequenzen ständig mit der Frequenz. Dies entspricht nicht mehr der Ausgangshypothese.

Außerdem ist nicht zu vergessen, daß die Phasenprobleme (die Flankensteilheit von 6 dB/Oktave wurden gewählt, um gewisse Phasenprobleme zu vermeiden) nicht an der Frequenzweiche, sondern rein akustisch bei der Schallabstrahlung beurteilt werden müssen. Leider haben die Lautsprechersysteme keinen konstanten Phasenverlauf und es entsteht ein zweiter Widerspruch zur Ausgangshypothese. Außerdem läßt sich hinzufügen, daß man aus Gründen der Linearität der Schalldruckkurve meist dazu gezwungen wird, die Übergangsfrequenzen gegenüber dem theoretisch ermittelten Wert zu verschieben. All dies hat zur Folge, daß man sich immer weiter von den Ausgangstheorien entfernt.

Wir möchten ganz besonders darauf hinweisen, daß all unsere Angaben in bezug auf Leistungen und Belastbarkeiten in Effektivwerten ausgedrückt sind, d.h. daß unsere Lautsprecherboxen Spitzenleistungen ertragen können, die über den veröffentlichten liegen. Z.B. kann die Spitzenwertbelastbarkeit einer Lautsprecherbox, die mit 70 Watt angegeben ist, 100 Watt erreichen und bei Dynamikspitzen sogar problemlos mit 200 Watt belastet werden.



Cabasse

High Fidelity aus Frankreich

„Georges und Elisabeth Cabasse haben zu Hause unter anderen Musikinstrumenten eine französische Geige aus dem Beginn des XVIII. Jahrhunderts. Sie trägt die Unterschrift Cabasse, Geigenbauer in Mirecourt. Neben der Medizin und der Rechtswissenschaft blieb die Musik eine der Familientraditionen, und Georges Cabasse blieb ihr treu, als er schon früh versuchte, die musikalische Wirklichkeit mit größter Klangtreue wiederzugeben.“

Eine Leidenschaft ist also der Ursprung der Firma, die heute den Namen des Geigenbauers von einst trägt. Eine Leidenschaft und ein Anspruch, den alle Mitarbeiter der Firma bedingungslos teilen, gleich, ob sie im technischen oder kaufmännischen Bereich tätig sind. Die High Fidelity verbindet sie miteinander. Beweis dafür ist, daß keiner von ihnen seine Arbeit als einen bloßen Job betrachtet. Man könnte viel eher von einer Zusammenarbeit sprechen, basierend auf dem menschlichen Kontakt und den Qualitäten jedes einzelnen. Die Übereinstimmung der Ansichten, die gleichen Grundideen sowie Bescheidenheit vor den erreichten Resultaten bildet die Basis für Projekte und Entwicklungen.“

Gilles Cantagrel
Diapason. Juni 78



Der schalltote Raum von Cabasse mit 2.000 m³ Volumen.

Garantie

Cabasse-Lautsprecherboxen werden vom einzelnen Bauelement bis zum fertigen Produkt ausnahmslos in den Cabasse-Werken entwickelt und produziert. Diese außergewöhnlichen Lautsprecherboxen rechtfertigen den Preis, den diese Qualität fordern muß, eine Qualität, die sich der Liebhaber hochwertigster Musikreproduktionen schuldig ist. Cabasse bietet außerdem eine außergewöhnliche Garantie, die jeden ordnungsgemäß festgestellten Fabrikationsfehler bei den elektronischen Baustufen 5 Jahre lang deckt. Auf die Lautsprechersysteme hat der Erstbesitzer eine lebenslange Garantie, wie sie auf der jedem Produkt beiliegenden Garantiekarte dokumentiert wird. Die intensiv weiterbetriebene Forschung in den Cabasse-Laboratorien kann jeder Zeit zu neuen Erkenntnissen führen. Cabasse behält sich deshalb vor, Änderungen, die der weiteren Qualitätssteigerung dienen, ohne besondere Ankündigung in die Produktion einfließen zu lassen. Abweichungen von bisher veröffentlichten technischen Daten sind aus diesem Grunde möglich.

Vertrieb Deutschland (einschl. West-Berlin):

Tandberg Radio Deutschland GmbH · Heinrich-Hertz-Straße 24 · D-4006 Erkrath
Tel.: 0211/20 30 76/77 · Telex: 858 7379 tand d

Vertrieb Schweiz:

PAJAC · CH-1604 Puidoux

Tel.: 021/56 26 26 · Telex: 26237 pajac ch

Cabasse:

182, rue Lafayette · F-75010 Paris · Tel.: 202.74.40 · Telex: 210887 cabaseparis

Überreicht durch Ihren Cabasse-Fachhändler:



© beim H
Archiv N
HIF