

Hörräume, Boxen-Aufstellung, Klangregler, DSP-Systeme und Anschlusskabel.

Allgemeine Betrachtungen – und ein bisschen Philosophie.

Obwohl diese „Betrachtungen“ grundsätzlich auch für andere Lautsprecher Gültigkeit haben, gehen wir dabei natürlich vor allem auf die verschiedenen Nubert-Boxenfamilien ein.

DER HÖRRaum

Praktisch jeder Wohnraum stellt – vom Gesichtspunkt des Messtechnikers betrachtet – mit seiner Vielzahl von Reflexionen und Resonanzen eine *echte Katastrophe* dar!

Wer jedoch schon einmal Musik in einem „annähernd perfekten“ schalltoten Raum gehört hat, ist fast immer völlig entsetzt darüber, wie *fürchterlich* dort eine gute Stereoanlage klingt, weil die akustische Umgebung als sehr unnatürlich und unangenehm empfunden wird.

Der Hörraum ist wahrscheinlich der wichtigste Teil einer Stereoanlage. Trotzdem hat man als Lautsprecherkonstrukteur durch überlegte Auslegung der Boxen einen recht großen Einfluss darauf, wie sehr sich unangenehme Resonanzneigungen des Raumes für den Hörer auswirken können.

Einerseits sind *gute* Lautsprecher schlechten Konstruktionen sowohl in guten als auch in schlechten Räumen klanglich überlegen (– kaum jemand würde auf die Idee kommen, eine Stradivari durch eine Blechgeige zu ersetzen, wenn das Orchester kurzfristig in einen anderen Saal ausweichen muss).

Das ändert aber andererseits nichts daran, dass man manchmal mit kleineren, sauberer Anlagen in besonders geeigneten Zimmern ein wesentlich schöneres Klangerlebnis haben kann, als mit sündhaft teuren Anlagen in mittelmäßig klingenden Räumen.

Die Vorstellungen, was unter „gutem Klang“ zu verstehen ist, sind manchmal recht unterschiedlich. Für die meisten Menschen klingt Musik in Räumen mit angenehmem akustischen Klima weit besser als in überdämpften oder halligen Räumen. Für 2-Kanal Musikwiedergabe – also klassisches Stereo – „klingen“ Räume, die leicht überdurchschnittlich mit Möbeln und Vorhängen ausgestattet sind, meist am besten; also mit Nachhallzeiten von 0,5 – 0,6 Sekunden (T 60). Bei Surround-Anlagen darf der Raum kürzere Nachhallzeiten haben, also noch etwas trockener sein.

Im mittleren und höheren Frequenzbereich werden Reflexionen, die z. B. von den Seitenwänden des Raumes kommen, meistens als Bereicherung des Klangbildes empfunden, weil sie zu einer gewissen „Luftigkeit“ und zu einem Eindruck von mehr Breite und mehr Tiefe beitragen. Durch diesen angenehm umhüllenden Klangeindruck wird die Ortbarkeit einzelner Instrumente weit weniger gestört, als von den Gegnern dieser „frühen Reflexionen“ immer wieder angeführt wird.

An akustisch sehr harten Seitenwänden können kleinflächige Absorber (ca. 50 x 50 cm) von Vorteil sein.

In der Tonstudio-Praxis werden diese Reflexionen natürlich als „Verfärbung“ empfunden. Deshalb wird hier der vordere Bereich des Raumes stark gedämpft, um ein trockenes, analytisches Klangbild zu erzielen. Von vielen HiFi-Fans wird dieser Klang aber als „etwas leblos“ empfunden. Dass der Hörbereich mit optimaler Präzision (sweet spot) dann auch merklich kleiner wird, stört im Studio weniger als in Wohnräumen.

Über die Raumakustik und die – für das Hörempfinden so wichtigen – „early reflections“ in Wohnräumen sind viele dicke Bücher geschrieben worden; diese Thematik wird aber so kontrovers diskutiert, dass wir einfach ganz subjektiv als HiFi-Fans beobachtend an das Phänomen Musikwiedergabe in geschlossenen Räumen herangehen.

Einige der aufwändigen Computerprogramme für Raumsimulationsmodelle, die in den letzten Jahren auf dem Markt erschienen sind, stellen ein hilfreiches Werkzeug für diese

Problematik dar und können die Experimentierphase bei der Boxenaufstellung verkürzen. Besonders sinnvoll sind diese Programme für Akustik-Spezialisten – auch zur Simulation der Abstrahleigenschaften von Lautsprechern. Für HiFi-Fans zeigen die Ergebnisse aber meistens das, was man sowieso *schon vorher* wusste: beispielsweise ist der optimale Sitzplatz irgendwo auf der Linie zwischen den Boxen (mit der gleichen Entfernung zu den beiden Hauptlautsprechern). Es stellt auch keine Überraschung dar, dass die Nachhallzeiten eines Raumes mit zunehmender Bedämpfung kürzer werden.

RÄUME UND BOXEN-AUFSTELLUNG

Es gibt eine Reihe Erfahrungswerte, wann zu erwarten ist, dass eine HiFi-Anlage gute Chancen hat, wirklich schön zu klingen:

- Wenn der Grundriss eines Wohnraumes ein Längen/Breiten-Verhältnis von ganz grob **3 : 2** hat (der Raum also weder exakt quadratisch noch zu schlauchförmig ist).
- Wenn die Raumfläche etwa 20 bis 25 m² beträgt, kommt man oft schon mit guten Regalboxen zurecht. Größere Räume bekommt man oft nur durch aufwändige Maßnahmen in Griff.
- Wenn die Zimmerdecke eher giebelförmig oder asymmetrisch strukturiert ist.
- Wenn die Lautsprecher von der akustisch härteren Raumseite in Richtung auf die stärker gedämpfte Seite strahlen und in einem Abstand von der Wand und den Raumecken stehen. Parkettboden in der Zimmerhälfte, in der die Lautsprecher stehen, „klingt“ meist besser als Teppichboden.
- Wenn an schallharten Seitenwänden kleinflächige Schalldämmelemente (ca. 50 x 50 cm) angebracht sind, die eine „direkte Spiegelung“ der Schallquelle reduzieren.
- Wenn in größeren Räumen überlegt konstruierte, große Standboxen mit mindestens je 2 Tieftönern eingesetzt werden.
- Wenn ein Raum unangenehm klingt, kann ein Lautsprecher, der im Mitten- und Höhenbereich recht stark bündelt, (z. B. ein Flächenstrahler), klangliche Verbesserungen bringen.
- Um den „Dröhnfrequenzen“ und „Auslöschungen“ im Raum ein Schnippchen zu schlagen und damit Spitzenergebnisse im Bassbereich zu erreichen, ist ein größerer Aufwand erforderlich: z. B. vorne zwei große Standboxen oder Front-Subwoofer; hinten zusätzlich (auch bei Einsatz „ohne Surround“) mehrere Subwoofer – oder zwei große Standboxen, die als Subwoofer betrieben werden. Die hinteren Woofer werden dabei mit Laufzeit-Ausgleich („time delay“ entsprechend der Raumlänge) versehen.

Lautsprecher mit identischen Messwerten im schalltoten Raum können in normalen Wohnräumen völlig unterschiedlich klingen. Den Auswirkungen dieses Phänomens kann man mit Equalizern oder digitalen Signalprozessoren nur sehr unvollkommen beikommen, weil jeder Punkt im Raum sein „Eigenleben“ hat (ausführliche Beschreibungen hierzu auf den folgenden Seiten.) Fast jeder hat schon einmal die Erfahrung gemacht, dass ein kleiner Lautsprecher, der *direkt auf den Boden* gestellt wird, in praktisch *jedem* Raum brummelig, dröhnend und undifferenziert klingt. Der selbe Lautsprecher klingt auf einem Stativ von vielleicht einem Meter Höhe wesentlich klarer – aber substanzlos und dünn.

Bei Regalboxen und bei kleinen Standboxen (mit nur *einem* Basslautsprecher) muss man einen ordentlichen Kompromiss zwischen diesen Extremen suchen.

Bei größeren Standboxen kann man es aber erreichen, dass die untere Hälfte der Box substanzreich erscheint, ohne zu dröhnen – und die obere Hälfte so klar klingt, wie eine stativoptimierte,

frei aufgestellte, sehr gute kleinere Box.

Neben der Suche nach Perfektion in den *Lautsprecher-Eigenschaften selbst* ist es also die Aufgabe des Entwicklers, die geometrische Form und die Abstrahleigenschaften des Lautsprechers so zu optimieren, dass das mit hoher Wahrscheinlichkeit in den meisten Räumen funktioniert!

Ab und zu sprechen uns Kunden darauf an, ob die hinteren Bassreflexöffnungen unserer kleineren Boxen es verhindern, dass man sie in eine Schrankwand oder in ein Bücherregal integrieren kann. Die Fachböden einer Schrankwand haben immer eine Hohlraum-Resonanz von weit über 100 Hz. Weil oberhalb 100 Hz kein nutzbares Signal aus den Reflex-Öffnungen kommt, bringt es keine klanglichen Nachteile, wenn sie *hinten* an der Box sind. Auch durch den quasi verlängerten Bassreflexweg von der Rückseite der Box bis zur „Außenwelt“ wird die Abstimmung des Reflexkanals nicht nennenswert verändert.

Die Bassreflexöffnungen sollten aber mindestens 3 cm Abstand zur Wand haben. Wenn dies nicht möglich ist (z. B. bei direkter Wandbefestigung), empfehlen wir, die Öffnung mit einem Pfropfen aus Schaumgummi oder leicht zusammengedrückter Watte ein wenig abzudichten. Das erscheint etwas unprofessionell, ist aber wirkungsvoll gegen die leichten Blasgeräusche von Bassreflexöffnungen, deren Wandabstand zu gering ist.

Je nach Akustik des Wohnraumes ergibt sich dann eine kleine Abschwächung im Bassbereich. Weil man aber durch wandnahe Aufstellung einer Box oft *zu viel Bass* bekommt, kann das Verschließen der Öffnung sogar vorteilhaft sein. Die Dämpfungen aller Nubert-Bassreflexboxen sind zwar für den Reflexbetrieb optimiert, liefern aber auch bei geschlossener Box sehr gute Ergebnisse. Das Dämpfungsmaterial aus Polyesterwatte bewirkt keinerlei allergische Reaktionen und ist im Gegensatz zu den häufig verwendeten Silikatfasern „nicht kurzbrechend“. Eine Gesundheitsgefahr durch eingeatmete Fasern ist damit also ausgeschlossen.

Mit abgenommener Stoffbespannung oder entferntem Metallgitter klingen die Boxen etwas heller und klarer. Die Gefahr für die Lautsprecherchassis (z. B. eingedrückte Membranen durch Kinderhände), muss im Einzelfall gegen den Klangunterschied abgewogen werden.

Durch wandnahe Aufstellung (und erst recht durch die Nähe von Raumecken) werden die Bässe kräftiger. Sie klingen aber einerseits *dröhnender*, andererseits werden manche Frequenzen (vor allem um etwa 250 Hz) durch Phasenauslöschungen infolge Wandreflexionen verschluckt. Das kann man verhindern, wenn man Regalboxen so ins Mobiliar (oder in die Bücherwand) integriert, dass sie *bündig* mit an diesen Stellen möglichst *vollen* Regalfächern abschließen.

Bei kleinen Lautsprechern kann eine wandnahe Aufstellung insgesamt ein guter Kompromiss sein, bei großen Boxen ist sie meistens nachteilig.

Optimal ist normalerweise ein Abstand von 30 bis 50 cm zur Raum-Vorderwand und 60 cm bis 1 m zu den Seitenwänden.

BOXEN-AUSWAHL UND AUFSTELLUNG FÜR HOCHWERTIGE BASSWIEDER- GABE IN GESCHLOSSENEN RÄUMEN

Nachfolgend einige Möglichkeiten, die Basswiedergabe in geschlossenen Räumen zu verbessern:

• Das Aufstellen von Diffusoren, Reflektoren und Absorbern kann die akustischen Eigenschaften eines Wohnraums stark ver-

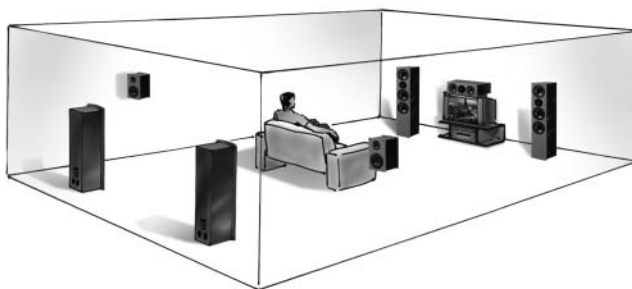
bessern. Aber ob sich damit dann noch Familienmitglieder oder Gäste wohl fühlen, ist fraglich. Diese sperrigen Gegenstände nehmen mehrere Quadratmeter in Anspruch!

• Mit großen Boxen, überlegter Anordnung der Lautsprecherchassis und sinnvoller Auslegung der Weiche kann man bei *den* Frequenzen, bei denen in Hörposition Auslöschungen und Anhebungen durch Bodenreflexionen auftreten, mit *einem* Tieftöner die Einbrüche auffüllen, die z. B. durch die Fußboden-Reflexionen beim jeweils *anderen* Tieftöner erzeugt werden.

• Mit mittelgroßen Boxen, die auch bei größerem Pegel und ordentlicher Qualität bis mindestens 80 Hz hinunterreichen. In Zusammenarbeit mit zwei überlegt aufgestellten Subwoofern die genau an die Hauptlautsprecher angepasst sein müssen.

• Mit nicht zu kleinen Satelliten-Boxen – (untere Grenze etwa 5 bis 10 Liter pro Stück) – und pro Kanal *einer* großen (oder *zwei* kleineren) Bassboxen, die in definierter Entfernung und maximal etwa einem Meter seitlichem Abstand zu den Satelliten, oder links und rechts neben dem Hörplatz, exakt angepasst und aufgestellt sein müssen.

• Um *Spitzenergebnisse* im Bassbereich zu erreichen, ist ein größerer Aufwand erforderlich:



Es geht darum, eine „ebene Wellenfront“ zu erreichen, die dann den Raum von vorn nach hinten weitgehend ungestört von „Lateral-Reflexionen“ (von Seitenwänden, Boden und Decke) durchläuft. Das kann mit mindestens zwei (besser vier) Subwoofern an der vorderen Wand des Hörraumes, oder durch 2 große Standboxen, in denen jeweils zwei Subwoofer integriert sind, erreicht werden. Dann treten fast nur noch Probleme auf, die von Reflexionen der *Raum-Rückwand* stammen.

Prinzipiell sind drei Methoden möglich, diese Reflexionen zu verhindern, von denen für Wohnräume *eine* aus praktischen Gründen von vorne herein schon auszuschließen ist:

– Wenn man die Länge des Wohnraums verdoppeln würde und hinter einem schalldurchlässigen Vorhang auf der neuen, „*zweiten*“ Raumrückwand“ z. B. 5 Meter lange, spitze Keile aus Dämmmaterial (wie in einem schalltoten Raum) montieren würde, könnte man auch *Bass-Reflexionen* verhindern. Diese Maßnahme wäre natürlich sehr unökonomisch; darüber hinaus würde dadurch aber auch das subjektiv empfundene „akustische Klima“ des Raumes leiden.

– Eine sehr aufwändige, in wenigen Fällen vielleicht gerade noch praktikable Möglichkeit wäre es, hinten passive Absorber für die „*erste*“ Längsmoden“ des Raumes aufzustellen, die bei einer Raumlänge von beispielsweise 6 m eine Frequenz von knapp 29 Hz hat. Bei so tiefen Frequenzen müssen die Absorber sehr große Abmessungen haben, um effektiv zu sein.

– Es gibt jedoch eine wesentlich elegantere, besser wirksame und unauffälligere Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen: wenn an der Rückwand dieses Raumes Subwoofer stehen, die mit einem „*time delay*“ von 18 Millisekunden (also ca. 3 ms pro Meter Raumlänge) gegenphasig angesteuert werden, stellen sie „aktive Ab-

sorber“ dar. Weil die (oben genannte) Wellenfront den Raum durchläuft und dann *vor* einer Reflexion an der Rückwand praktisch komplett aufgesaugt wird, führt das zu einer drastischen Verringerung der Dröhn-Neigung des Raumes.

Was nicht so gut funktioniert:

Recht problematisch in dieser Hinsicht sind einzelne Subwoofer, wenn sie in irgendeiner Ecke stehen. Diese können zwar *viel* Bass erzeugen, die *Qualität* im Bassbereich ist jedoch manchmal, vor allem mit den kleinern Woffern aus preisgünstigen Komplett-Angeboten, deutlich schlechter als die von guten, mittelgroßen, normal aufgebauten Lautsprecherboxen.

Der Klang dieser Subwoofer-Satellitensysteme ist meist gekennzeichnet von brummeligen, unpräzisen Bässen, die sich sehr ungleichmäßig im Raum verteilen. Besonders ungünstig sind die Ergebnisse, wenn die Tieftöner des Subwoofers *nur* durch ein Bassreflexrohr mit der Außenwelt kommunizieren und die nach dem Mehrkammer-Bandpassprinzip arbeiten. Dabei wird der letzte Rest Präzision im Keim erstickt; für mittelmäßige Surroundanlagen mag dieses Gebrummel bei der Wiedergabe von Filmeffekten ja ganz beeindruckend sein aber für hochwertige Musikwiedergabe ist es unzumutbar.

KLANGREGLER UND EQUALIZER

(zur Klangregelung – also *nicht* zur Korrektur von Räumen oder Boxen!)

Manche HiFi-Fans sind wirklich „rigoros ästhetisch“ eingestellt. Sie ertragen bei schlecht klingenden Aufnahmen lieber eine unsinnig abgemischte Klangbalance mit zusammengebissenen Zähnen, anstatt einfach den Klangregler zu betätigen und dadurch ein angenehmeres Klangbild zu erreichen!

Die Angst vor etwaigen nachteiligen Auswirkungen von Klangreglern und Equalizern bei der Impulsverarbeitung ist zwar begründet, doch sind negative Klangeffekte von *sinnvoll aufgedrehten* Reglern geringer als die negativen Auswirkungen von beispielsweise *zu dünn* klingenden Aufnahmen!

Schädliche Einflüsse von *auf Null* gedrehten Reglern oder Equalizern sind eher die Ausnahme. Viele Verstärker sind außerdem mit Schaltern oder einer „Source-Direct“-Taste ausgerüstet, mit denen man die Klangregler ausschalten kann.

Trotz der technischen Fortschritte im Verstärkerbau trauern wir immer noch den Zeiten nach, als jeder ordentliche Verstärker noch Klangregler und eine stufenlos einstellbare *Loudness-Korrektur* hatte.

In meine Privatanlage ist deshalb ein selbst konstruiertes, spezielles „Loudness“-Lautstärkeregel-Modul mit Klangreglern zwischen Vor- und Endverstärker geschaltet. Wegen einiger fehlender Bedienelemente war mir diese sehr hochwertige Verstärker-Kombination bisher *zu puristisch*. Jetzt ist sie auf Wunsch im Klang regel- und auch fernbedienbar – und macht nun endlich richtig Spaß.

Das menschliche Ohr ist einfach nicht dafür gebaut, bei kleinen Lautstärken das volle Klangspektrum wahrzunehmen (ähnlich dem Auge, das bei sehr wenig Licht nur noch Grauwerte unterscheiden kann).

Es ist Aufgabe eines *Klangreglers*, *nicht eines Lautsprechers*, so etwas zu korrigieren!

"LOUDNESS-EFFEKT"

DURCH LAUTSPRECHER

Manche Lautsprecher werden dafür gelobt, auch schon bei kleinen Lautstärken ein volles Klangbild zu liefern. Das ist *dann* o. k., wenn sie gegenüber Vergleichstypen grundsätzlich basskräftiger sind! Es gibt aber recht häufig Konstruktionen, die *nur bei kleinen Lautstärken* einen angehobenen Bassfrequenzgang haben. Das ist alles andere als wünschenswert, weil Lautsprecher (im Gegensatz zur Stellung des Lautstärkereglers) ja gar nicht „wissen“ können, ob man leise hören will oder ob in einem lauten Musikstück zufällig eine leise Passage läuft, deren Klangspektrum schon *ohne Bassanhebung* genau stimmt!

Eine solche Auslegung wird oft mit sehr weich aufgehängten, relativ kleinen Basslautsprechern realisiert, die in einem großen Gehäuse eingebaut sind. Manchmal erreichen sie dann bei 10% ihrer Nennbelastbarkeit schon 80 % ihres maximalen Membranhubes. Es handelt sich hier also um Nichtlinearitäten in der Dynamik!

Zu diesen „Verzerrungen“ addieren sich dann noch bei größeren Lautstärken mehr oder weniger „blubbernd“ klingende Bässe.

DSP-SYSTEME UND EQUALIZER

ZUR "RAUM-KORREKTUR" EINES

KLANGSPEKTRUMS

(DSP: Digitale Signal-Prozessoren)

In letzter Zeit tauchen häufig Produktvorstellungen in Firmenprospekten und Tests in Fachzeitschriften auf, die den Eindruck erwecken, es sei sinnvoll, den gesamten Frequenzgang eines akustisch unangenehmen Raumes einfach an der Hörposition messtechnisch zu erfassen und daraus ein Korrektur-Signal abzuleiten. Wenn dann den Boxen zusammen mit der Musik die „umgekehrte“ Frequenzgang-Veränderung des Raumes angeboten wird, sollen die Raumeinflüsse kompensiert werden.

Zugegeben, vor vielleicht 20 Jahren dachten *auch wir*, dass der Klang einer Beschallungsanlage *dann* wohl gewinnen würde, wenn der (durch gleitenden Sinus oder durch Schmalbandrauschen gewonnene) Frequenzgang am definierten Sitzplatz eines Hörers durch Equalizer linearisiert werden würde!

Erst die katastrophalen Hörerergebnisse dieser Versuche veranlassten uns, konzentriert über solch eine Vorgehensweise nachzudenken und uns mit diesem Gebiet intensiv zu beschäftigen:

Der „Frequenzgang“ von *impulsartigen* Signalen im Raum sieht bei jeder Art der Impuls-Zusammensetzung *völlig anders* aus – und hat *praktisch gar nichts* mit dem Frequenzgang im eingeschwungenen Zustand zu tun!

In der Praxis muss man einige Teilaspekte unterscheiden:

1. Oberhalb einiger hundert Hertz sind die Resonanzen und Auslöschungen so ungleichmäßig im Raum verteilt, dass schon der Abstand zwischen den beiden Ohren eines Hörers ausreicht, um für jedes Ohr völlig unterschiedliche Bedingungen zu schaffen. Deshalb sind in diesem Frequenzbereich nur breitbandige Beeinflussungen des Frequenzganges – also als *Klangregler* – sinnvoll. Die durch Raumreflexionen verursachten Klangveränderungen im mittleren und höheren Frequenzbereich durch „Umdrehen“ der eingespeisten Informationen verbessern zu wollen, funktioniert nicht. Das ist vergleichbar mit dem Versuch, Echos oder Nachhall von Stimmen durch zusätzlich noch gegenphasig gesprochene (quasi „ingesaugte“) Worte verhindern zu

wollen. Erst die völlige Stille des Sprechers – oder eine vollständige akustische Dämpfung der reflektierenden Flächen – können das Echo verhindern.

2. Raumbedingte, schmale Auslöschungen im Bassbereich kann man nicht sinnvoll auffüllen; man kann höchstens versuchen, *die Umgebung des Frequenzbereichs*, in dem sich die schmale Auslöschung befindet, ganz sanft (und wesentlich breitbandiger) anzuheben. Bass-Anhebungsversuche mit *schmalbandig* wirkenden digitalen Signal-Prozessoren oder parametrischen Equalizern (mit mehr als etwa 6 dB/oct. Filtersteilheit) verkehren sich sogar gravierend ins Gegenteil: Für *die* Punkte, an denen sich das Mess-Mikrofon – oder die Ohren eines einzelnen Hörers – befinden, können zwar Frequenzgangeinbrüche durch drastisch erhöhte Verstärkerleistung ausgeglichen werden. Das geht aber nur für einen sehr kleinen Bereich in der Nähe dieses Punktes, und nur für den *ingeschwungenen Zustand* (also für langsam ein- und ausschwingende Instrumente, wie z. B. große Orgelpfeifen).

Um einen im Alltag normalen Einbruch von beispielsweise 10 dB aufzufüllen, benötigt man eine Verzehnfachung der Verstärkerleistung. Dabei entsteht absolut sicher an fast allen anderen Stellen des Raumes eine sehr unangenehme, dröhnende Überhöhung. In der Praxis werden also durch Ausbügeln der (nicht so störenden) Frequenzgangeinbrüche im Raum extrem störende Überhöhungen gemacht!

DSP-Versuche mit mehreren gemittelten Raumfrequenzgängen (von verschiedenen Stellen des Raumes als Korrekturgrundlage), können manchmal auf den ersten Blick ganz angenehme Resultate liefern – sie wirken (wenigstens) normalerweise nicht so krass wie der Kompensationsversuch für einen Raumpunkt.

3. Im Tiefbassbereich (20 bis 80 Hz) können die Schalldruck-Überhöhungen, die durch die „Raum-Moden“ bzw. „stehende Wellen“ verursacht werden, über eine Fläche von vielleicht einem oder zwei Quadratmetern relativ gleichmäßig ausgebildet sein. Mit parametrischen Equalizern, notch-Filtern (oder DSP-Systemen mit diesen Funktionen) kann man versuchen, einen Teil dieser „Dröhnspitzen“ zu mildern. Dabei beeinflusst man aber impulsartige Klänge negativ.

Der Schlag einer Basstrommel ist schon zum größten Teil wieder vorbei, *bevor* der Raum überhaupt in die Nähe kommt, eine Resonanz durch stehende Wellen zu entwickeln! Wie sollte es dann möglich sein, ein *ingeschwungenes Signal* als Basis für die Korrektur im Bassbereich zu verwenden – zumal jeder Punkt im Raum sein Eigenleben hat?

Bei *zu dünn* oder *zu massiv* klingenden Räumen sorgt eine sanfte, recht breitbandige Bass-Anhebung oder Absenkung für Abhilfe.

Die Vor- und Nachteile dieses Verfahrens (im Vergleich zu *überhaupt keiner Korrektur*) sind ebenfalls nicht leicht zu bewerten. Uns erscheint auch hier eine sanfte Raumkorrektur bei kleineren Boxen (mit nur einem Basslautsprecher) insgesamt als erwägenswert. Bei großen Lautsprechern überwiegen hingegen – auch durch den deutlichen Verlust an Präzision bei impulsreichen Klängen – die Nachteile deutlich.

4. Seit einiger Zeit gibt es Bemühungen, *auch im Zeitbereich* den Aufbau und das Abklingen einzelner stehender Wellen im Tiefbass zu analysieren. Dann kann man in sehr aufwändigen DSP-Systemen eine Reihe von Sperrfiltern (notch filter) programmieren, deren Wirkung zeitlich *mit Verzögerung* einsetzt – parallel zum Aufbau- und Abkling-Prozess der stehenden Wellen. Damit kann der Nachteil weitgehend vermieden werden, die „erste Wellenfront“ negativ zu beeinflussen. Trotzdem fielen Hörversuche ohne diese Filter, dafür aber mit „optimaler akustischer Behandlung“ des Raumes, weit besser aus.

DSP-SYSTEME UND EQUALIZER

ZUR KORREKTUR VON

LAUTSPRECHER-UNZULÄNGLICHKEITEN

Frequenzgang-, Phasen- und Laufzeitfehler eines Lautsprechers können mit DSP-Systemen weitgehend kompensiert werden – aber nur dann, wenn diese Fehler über einen größeren Winkelbereich sehr gleichmäßig auftreten!

Dramatisch wird die Angelegenheit, wenn ein schmaler Frequenzgang-Einbruch (bzw. eine schmale Spitze) einer Lautsprecherbox linearisiert werden soll. Selbst die vergleichsweise unkritische Waterfall-Darstellung eines Frequenzspektrums zeigt dabei schon eine deutliche Verschlechterung der Impulsverarbeitung! Lautsprechersysteme, die schon von der Konstruktion her für jeden Abstrahlwinkel einen *anderen, stark zerklüfteten* Frequenzgang haben, mit DSP-Systemen linearisieren zu wollen, ist ein technisch eigenartiges Unterfangen: die tiefen Einbrüche im Frequenzgang (wie sie z. B. von fast allen Koaxial-Systemen hervorgerufen werden), sind beispielsweise gehörmäßig noch irgendwie erträglich, solange man nicht versucht, diese Frequenzgänge mit DSP-Systemen geradezubiegen!

Wenn man das dann aber *doch* tut, handelt man sich für *jeden anderen Abstrahlwinkel* als für den „linearisierten“, eine Reihe von oft *mehr als 10 dB hohen Spitzen* im Frequenzgang ein, was das Klangbild *extrem metallisch* macht. So etwas passt nicht zum Anspruch „Spitzenklasse“.

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN

VON DSP-SYSTEMEN

Wenn man sich *ähnlich intensiv* mit allen Grundproblemen der DSP-Technik beschäftigt, wie mit dem Bau guter Lautsprecher-Boxen, kann man damit konventionelle Aktiv- und Passivboxen merklich übertreffen. Dabei kann auch ein großer Teil der Schaltungstechnik nachgebildet werden, der in aufwändigen Passiv-Boxen zur Kompensation der Chassis-Eigenheiten eingesetzt wird.

Mit DSP-Komplettboxen oder externen DSP-Systemen für Aktiv- oder Passiv-Lautsprecher kann der *Laufzeitunterschied* zwischen Hoch- und Tieftöner komplett ausgeglichen werden. Es ist auch technisch möglich, durch Kompensation der Gruppenlaufzeit ein so gutes Zeitverhalten zu erzielen, dass man eine praktisch perfekte Sprungfunktion im Übertragungsverhalten bekommt.

Eingriffe in den *Frequenzgang* (außer im Tiefbassbereich) bringen bei Nubert-Boxen keine klanglichen Vorteile.

Zur Simulation konventioneller Klangregler oder zum Anpassen des Klanges an spezielle Hörgewohnheiten sind DSP-Systeme jedoch gut geeignet.

Die ersten lieferbaren DSP-Systeme hatten eine Abtastfrequenz (Samplingfrequenz) von 44,1 kHz bei 16 Bit Auflösung und lagen zwischen 1250 und 1500 Euro (für beide Boxen). Sie waren eventuell schon *zu diesem Preis* als Aufwertung für gute, preisgünstige Boxen (wie z. B. nuLine 30) sinnvoll.

Genau da, wo eine technische Verbesserung deutlich hörbar wäre, ließen sich diese Systeme jedoch leider nicht einsetzen: Zur Kompensation der Signalverzögerung im Bassbereich!

Trotzdem erhielt man damit (vor allem messtechnisch) so saubere Schallwandler, wie sie auch in der neuen, (um 1500 Euro höheren) Preisklasse nicht selbstverständlich waren.

Oberhalb etwa 1 kHz sollte man keine Wunderdinge durch die oft **hoch gelobte, zeitrichtige** Wiedergabe erwarten. Viele Blindtests zeigten, dass man bei den 44,1-kHz-Systemen *nur dann* von einer gerade noch bemerkbaren Verbesserung des Klanges reden kann, wenn man von einer digitalen Tonquelle kommend (z. B. von CD oder DAT) *auf digitaler Ebene bleibt* und das DSP-System schon *vor* der Digital-Analogwandlung einschleift. Dabei muss das Musiksignal ja auch keine erneute Analog/Digitalwandlung durchlaufen.

Bei *analogen* Tonquellen, zu denen man in diesem Fall auch DVD-Audio und SACD zählen könnte, ist es anders.

Die hörbaren Vorteile der zeitrichtigen Wiedergabe sind *eher geringer* als die Nachteile durch die zusätzliche Digital/Analog-Wandlung und die damit verbundene leicht metallische Einfärbung des Klanges.

Wir haben ausgiebige Hörvergleiche mit verschiedensten digitalen Systemen gemacht, die noch nicht mit FIR-Filtern zur „group delay Kompensation“ versehen waren. Dabei haben wir den Eindruck gewonnen, dass immer das oberste Drittel des Übertragungsbereiches (in Abhängigkeit von der Filtercharakteristik des D/A-Wandlers) von dieser metallischen Einfärbung betroffen ist.

Bei den bisherigen 44,1-kHz-Systemen geht der Frequenzgang bis ca. 21 kHz. Es gab keine klanglich erkennbaren Unterschiede durch zusätzliche Wandlungen, wenn das analoge Eingangssignal nur bis etwa 14 kHz reichte. Wenn die Musikbeispiele Frequenzen bis 20 kHz enthielten, wurde der Einfluss des Wandlers erstaunlicherweise auch von erfahrenen *älteren* Hörern eindeutig erkannt, obwohl deren Hörbereich nur bis 12 kHz reichte.

Durch Umsteigen der DSPs auf 24-Bit-Systeme mit 96-kHz-Samplingfrequenz wird der saubere Bereich also wahrscheinlich auf etwa 28 kHz erweitert und sollte damit **sollten die Wandler-Einflüsse** kein Problem mehr darstellen. Mit unseren hochwertigen Laborwandlern hören wir *selbst bei zwei* hintereinander geschalteten Systemen keinerlei Unterschiede zum Original mehr!

Unsere ersten DSP-Komplettboxen, die wir schon seit Jahren in unserem Labor einsetzen, arbeiten ebenfalls mit 24 Bit und 96 kHz. Dabei gibt es also nur noch die eigentlichen Funktionen bei der Signalverarbeitung ohne jene klanglichen Nachteile, von denen die Digitaltechnik früher betroffen war.

Wir erwarten einen starken Anstieg der Nachfrage, wenn solche DSP-Systeme deutlich preisgünstiger erhältlich sind.

Obwohl diese neuen Entwicklungen eine Brücke zwischen Analog- und Digitaltechnik darstellen, wird eine zunächst einleuchtend erscheinende, aber unzutreffende Behauptung mancher *eingefleischter Analogfans* wohl weiterhin verbreitet werden: es wird argumentiert, dass beim Zerstückeln analoger Daten und digitaler Speicherung irgendwelche Informationen *zwischen den Abtastpunkten* verloren gehen würden!

Durch die Hörtests wurde jedoch schon fast bestätigt, und durch das „Abtast-Theorem“ (Shannon/Nyquist) mit Hilfe der Fourier-Transformation bewiesen, dass dem *nicht so ist*. Bis zur halben Samplingfrequenz (bei 96-kHz-Systemen also bis 48 kHz) gibt es keinen Informationsverlust!

Erfahrungsgemäß dürfte das aber auf die echten „Esoteriker“ innerhalb einer Glaubensgemeinschaft keinen großen Eindruck machen!

HÖRBARKEIT VON PHASENVERLAUF UND "GROUP DELAY"

Unter HiFi-Fans und im High-End-Bereich gibt es oft pauschale Aussagen über die gehörmäßige Wichtigkeit von Phasen-Linearität. Oft wird die „Phasen-Neutralität“ noch höher eingestuft als die Linearität im Frequenzgang. Das steht deutlich im Widerspruch zu den Ergebnissen aus „Doppel-Blindtests“, die von maßstabsetzenden Fachleuten durchgeführt wurden und widerspricht auch unseren Erfahrungen.

Das Ohr ist *dann* sehr sensibel, wenn z. B. der linke Kanal einer Stereo-Anlage gegenüber dem rechten Kanal phasenverschoben ist. Das führt zu sehr deutlichen Veränderungen der Richtungs-Wahrnehmung.

Bei Phasenverschiebungen, *die in beiden Kanälen gleich* sind, sind aber oberhalb etwa 1,5 kHz praktisch keine hörbaren Unterschiede mehr feststellbar, selbst wenn man in diesem Bereich die Hörtests mit durchstimmbaren Allpass-Filtern durchführt, die eine Gruppenlaufzeit von Frequenzweichen vierter Ordnung (24 dB/oct.) aufweisen. Bei tieferen Frequenzen, also z. B. im Bereich der Übernahmefrequenz zwischen Subwoofern und Satelliten-Boxen sind Unterschiede im group delay und in der Phasenlage aber deutlich hörbar.

LAUTSPRECHERKABEL

Das Thema „Kabelklang“ wird sehr kontrovers diskutiert. Schon allein die Vorbereitung eines Kabeltests ist extrem schwierig. Wenn die Jury nicht ahnen soll, was *überhaupt* getestet werden soll, dürfen auch keine auffälligen Kabelstränge herumliegen. Man muss einen fernbedienbaren Schaltkasten haben, der *beide* Seiten des Kabels extrem sauber und mit einem Übergangswiderstand von möglichst unter 1 Milliohm schalten kann; die ganze Angelegenheit muss hinter einem akustisch sehr durchlässigen Vorhang stattfinden. Wir verwenden ein relativ weitmaschiges Moskitonetz, das mit einer Halogenlampe angestrahlt wird, damit man nicht sehen kann, was dahinter aufgebaut ist.

Es ist schwer, selbst von einer Gruppe erfahrener Tester statistisch aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, da sich die Hörempfindungen oft deutlich widersprechen. Es ist, wie schon erwähnt, sehr wichtig, dass solche Tests als absolute Blindtests durchgeführt werden, bei denen kein stimmberechtigtes Jurymitglied ahnt, ob Verstärker, CD-Player, Boxen oder Kabel getestet werden sollen. Die Ergebnisse müssen schriftlich abgeliefert werden, weil jede Art von Kommunikation die Tests drastisch verfärbt (– oft reicht schon ein anerkennender Blick des „Ober-Guru“ für ein totales Desaster im Resultat).

Kabelwiderstand

Als Ergebnis vieler Hörtests können wir sagen, dass es *eindeutig hörbare* Unterschiede des Kabelwiderstandes gibt. Wenn eine Box einen Impedanzverlauf von 4 bis 20 Ohm (in Abhängigkeit von der Frequenz) hat, erzeugt ein Kabelwiderstand von 0,1 Ohm bei diesem Lautsprecher eine Frequenzgangveränderung von 0,2 dB und ist *dann gerade noch unterscheidbar*. Das ist z. B. bei 7 m Kabel mit dem Querschnitt 2 x 2,5 mm² der Fall. Mit 2 x 4-mm²-Kabeln ist man bei dieser Länge (selbst bei Boxen mit stark schwankendem Impedanzverlauf) auf der sicheren Seite.

Skin-Effekt

Bei üblichen (preisgünstigen) Lautsprecherkabeln – aber auch bei manchen Exoten für 150 Euro pro Meter – kann der „Skin-Effekt“ (bei dem die Leitfähigkeit dadurch reduziert wird, dass die Elektronen zur Oberfläche des Leiters drängen) im Extremfall bei hohen Frequenzen den Widerstand (gegenüber dem von Gleichstrom) messbar erhöhen. Vereinzelt sind statistische Tendenzen in den Hörtests zu erkennen, die eine große Leiteroberfläche als vorteilhaft bestätigen könnten. Vorsichtige Menschen kommen also mit 2 parallel geschalteten 2 x 2,5-mm²-Kabeln weiter als mit einem 2 x 4-mm²-Kabel.

Mechanische Unterschiede

Bei Impulsmessungen kann man erstaunlicherweise *ganz leichte* Unterschiede herausfinden, die von der mechanischen Beschaffenheit der *Isolation* stammen! Durch Kontraktion bzw. Ausdehnung des Abstands zwischen den beiden Leitern eines Lautsprecherkabels infolge elektromagnetischer Kräfte (auch in Abhängigkeit vom Erdmagnetismus und anderen Magnetfeldern), gibt es kleine Bewegungen und dadurch eine Art „Mikrofonie-Effekt“, der *so klein* ist, dass er am Oszilloskop zwar *nicht direkt* aber über *Differenz-Messung* von Ein- und Ausgang des Kabels nachweisbar ist; vor allem, wenn das Kabel stark induktiv oder kapazitiv belastet wird.

Mit der Differenz-Messmethode sind auch „Verbesserungen“ unterscheidbar, die durch abisolierte und dann in Epoxidharz-Rohren eingegossene Kabel erzielt werden konnten. Auch Versuche mit tiefgekühlten Kabeln, deren Isolation durch flüssigen Stickstoff brettartig und spröde wurde, brachten messtechnisch nachweisbare Ergebnisse.

Dass dieser Effekt *hörbar* (oder von Bedeutung) sein soll, konnten wir in den Hörtests nicht bestätigen; das wäre angesichts der Intensität (Promillebruchteile) auch eher unwahrscheinlich gewesen.

Zusammenfassung

Außer Leiterquerschnitt, -länge und (evtl.) -oberfläche konnten wir in den Hörtests **überhaupt nichts** über Klangunterschiede bestätigen. Alle anderen Effekte, wie z. B. Induktivität oder Kapazität eines Kabels machen auch messtechnisch wesentlich weniger Unterschied, sollten in der Praxis also ebenfalls bedeutungslos sein. Die Materialbeschaffenheit z. B. sauerstoff-freies oder *fast einkristallines* Kupfer ist messtechnisch praktisch nicht mehr nachweisbar, sollte also ebenso bedeutungslos sein (Silber hat einen um etwa 4 % niedrigeren Widerstand als Kupfer, also dürften die Silberleiter statt 4 mm² dann 3,85 mm² haben)! Unser bestes Messsystem hat eine Frequenzgang-Grundgenauigkeit von $\pm 0,005$ dB und einen Grundklirrfaktor von 0.0003%. Die jeweiligen *Auflösungen* sind noch einmal um den Faktor 10 besser. Damit kommt man dem Thema „unterschiedliche Ansichten zum Kabelklang“ aber *trotzdem nicht* bei!

"Herbeigewünschte" Unterschiede

Es gibt aber ein ausgeprägtes Bedürfnis, Kabelunterschiede hören zu **wollen**:

Wenn bei uns *Blindtests* durchgeführt werden, gibt es üblicherweise als schriftliche Bewertungen das Ergebnis „keine Unterschiede“. Wenn bei Hörtests bekannt war, *dass Kabel* getestet werden sollten, gab es fast immer Bewertungen wie „besser“, „schlechter“, „klarer“, „impulsiver“, „weicher“ oder „verschwommener“ – was sich aber statistisch die Waage hielt.

Wenn aber der Lautstärkepegel bei einem beliebigen Kabel um

lediglich 1 dB angehoben wurde, schnellten die statistischen Auswertungen bezüglich „besser“ oder „dynamischer“ *schlagartig* auf eine Trefferquote von fast 100 %!

Trotzdem werden in *unserem Labor* selbst angefertigte, abgeschirmte, „koaxartig“ aufgebaute Kabel mit 2 x 16 mm² verwendet.

Dabei ist uns einfach egal, dass sämtliche Theorien über Wellenwiderstand, Induktivität oder Kapazität von Lautsprecherkabeln eigentlich nur für Hochfrequenz-Übertragung relevant sind (von HF-Technikern werden alle analogen HiFi-Anwendungen scherzhaft unter dem Oberbegriff „Gleichstrom“ betrachtet).

Uns wird häufig vorgeworfen, dass wir versuchen, Kabelunterschiede im *Direktvergleich* zu ermitteln; denn viele Menschen, mit denen ich mich über dieses Thema unterhalten habe, schwören, dass sich die hörbaren Unterschiede erst *nach Wochen* einstellen.

Insgesamt ist mir diese Sichtweise jedoch einfach zu „esoterisch“.

Da es aber *riesige* Klangunterschiede bei Hörräumen und Lautsprechern und *große* Unterschiede bei Hörverträglichkeiten zwischen Verstärkern und Lautsprechern geben kann, erscheint uns eine Diskussion über klangliche Unterschiede von kurzen Kabeln großen Querschnitts wie ein Disput über den Luftwiderstandsbeiwert eines Traktors auf dem Acker! Wir empfehlen bei kleineren Boxen bis zu Kabellängen von etwa 7 m das von uns als Zubehör lieferbare, hochwertige 2 x 2,5-mm²-Kabel mit transparenter Isolation. Gegenüber Leitungen mit sehr geringem Querschnitt wird damit das Klangbild merklich dynamischer.

Eine weitere Steigerung auf 2 x 4 mm² oder darüber ist bei einer Länge unter 10 m nur mit sehr guten Anlagen als leichte Verbesserung zu hören.

Es gibt allerdings geradezu furchterregende Klangbeeinflussungen durch lockere oder oxidierte Lautsprecherklemmen und durch korrodierte Relais-Kontakte in den Ausgangsstufen (meist älterer) Verstärker.

Achtung: die Kabelenden bei Klemm- und Schraub-Kontakten nie verzinnen! Nach einiger Zeit können sonst an den oxidierten Lötzinnoberflächen halbleiterartige Übergangswiderstände auftreten, die Verzerrungen erzeugen.

Bi-wiring / Bi-amping

Selbst den meisten Fachleuten, mit denen ich mich über dieses Thema unterhalten habe, ist nicht klar, dass Bi-wiring und Bi-amping für gleich niedrige Kabelverluste grundsätzlich *den vollen* Querschnitt *für jedes* der beiden (Hoch- und Tieftönerkabel) erfordern. Das bedeutet also, dass man mit Bi-wiring nur halb so große Kabelverluste hat, wenn man die Verbindungsbrücken am Boxen-Terminal *nicht* abnimmt.

Unsere Hörtests haben das bestätigt: Bi-wiring hat bei langen, nicht allzu dicken Kabeln gegenüber einer Parallelschaltung der gleichen Leitungen fast immer klangliche *Nachteile*. Erst wenn der Kabelquerschnitt gegenüber konventionellem Anschluss verdoppelt wurde, gab es eine Tendenz in Richtung Klangbild-Verbesserung.

Bi-amping (– also die Verwendung getrennter Verstärker für Hoch- und Tiefton-Kanal –) kann einige Probleme verursachen und erfordert deshalb die Erfahrung von Profis.

Im Normalbetrieb sind die Phasendrehungen bei der Stromaufnahme eines Lautsprechers meistens recht *gutmütig* und stellen für den Verstärker in der Regel kein Problem dar.

Im Bi-amping-Betrieb sind diese Phasendrehungen wesentlich ausgeprägter und können dann oft kritische Werte von annähernd

90° erreichen. Verstärker können dann zum Schwingen neigen und durch vorzeitig ansprechende Schutzschaltungen im Klang „kratzig“ werden.

Um das zu verhindern, mussten wir bei den meisten Bi-amping-Anlagen, die wir aufgebaut haben, parallel zu den Lautsprechern noch zusätzliche Impedanz-Korrekturglieder einfügen.

Wenn diesbezüglich dann alles o. k. ist, sind die klanglichen Vorteile von Bi-amping umso geringer, je besser die Verstärker sind. Mit sehr guten Endstufen gibt es nur in der Nähe der Maximalleistung klangliche Vorteile für Bi-amping. Sie erscheinen kräftiger, weil meistens der Hochton-Kanal noch sauber arbeitet, wenn der Basskanal schon durch „clipping“ beeinträchtigt ist.

Durch den Einsatz von aktiven Allpass-Filtern vor der Hochtoner-Endstufe lässt sich allerdings oft noch eine klangliche Verbesserung herausholen, was aber eher eine Art „Boxen-Tuning“ darstellt.

DIPOL-SPEAKER UND RUNDSTRAHLER ALS HAUPTBOXEN

Außer *direkt strahlenden* Lautsprechern hatten wir viele Jahre lang auch „Rundstrahler“ im Programm. Rundstrahlende Lautsprecher sind durch ihr substanzreiches und trotzdem räumlich-luftiges Klangbild sehr beliebt bei eingefleischten Fans. Ein angenehmer Nebeneffekt ist, dass dabei außerdem der eingeschränkte Sitzbereich gegenüber klassischen Stereolautsprechern wesentlich erweitert wird. Allerdings wird damit der „Eigenklang“ des Raumes stark hervorgehoben, was oft angenehm, aber insgesamt weniger natürlich ist. Mit Dipolstrahlern kann man ebenfalls sehr räumlich klingende Lautsprecher verwirklichen, die gegenüber Rundstrahlern sogar den Vorteil haben, dass damit die meist negativen Auswirkungen der Raumakustik deutlich geringer gehalten werden.

Seit Herbst 1997 gibt es verschiedene Modelle unserer Dipol-Strahler, die eigentlich als Rear-Speaker gedacht sind, aber beim Einsatz als Frontlautsprecher an die Rundstrahler-Tradition anknüpfen.

Kurz vor Weihnachten 2003 wurde endlich der neue Dipol-Lautsprecher nuWave DS-55 fertig, der für uns den Durchbruch für diese Anwendung darstellt. Sein räumliches Klangbild beeindruckt viele Musik-Liebhaber, die sich solch ein Klangbild wünschen, sehr. Zusammen mit dem perfekt dazu passenden Bass-Erweiterungsmodul ATM-80 bekommt man damit auch eine beeindruckende Bass-Wiedergabe.

Aber auch, wenn die RS-5, DS-50, bzw. sogar die winzigen RS-300 zusammen mit einem oder zwei Subwoofern als vordere Hauptboxen einer hochwertigen Stereoanlage laufen, ergibt sich ein so luftiges Klangbild, dass sich immer mehr unserer Kunden für *diese* Art, mit Musik zu leben, entscheiden.

Dabei spielt dann die perfekte Ortbarkeit einzelner Instrumente eine weniger wichtige Rolle.

Die Präzision und die Perfektion bei der Impulswiedergabe ist jedoch *denjenigen* der konventionell aufgebauten Boxen deutlich überlegen, die ihre Räumlichkeit durch stark richtungsabhängige Frequenz- und Phasengänge erzielen (z. B. manche 3-Weg-Lautsprecher oder Konstruktionen mit zwei oder mehr Hochtönern auf der gleichen Schallwand).

Durch Rundstrahler oder Dipolboxen lassen sich gegenüber Direktstrahlern also wesentlich räumlichere Klangbilder bei ordentlicher Präzision verwirklichen. Diese Räumlichkeit ist allerdings künstlich „etwas aufgeblasen“ und es wäre wohl besser, wenn sie bereits auf der Aufnahme enthalten wäre!