

Günther Nubert

# Technik »satt«

Einblicke in die Entwicklung von  
Nubert Lautsprechern und Geräten,  
jede Menge technische Zusammenhänge  
und elektroakustisches Hintergrundwissen  
sowie das Thema Klangoptimierung.



Ausgabe 8/2016

**nubert**  
Ehrliche Lautsprecher

Sehr geehrte Kundinnen und Kunden!

ab Seite

## **3 Technik »light«**

ist ein komprimierter Abriss der Kernthemen des Lautsprecherbaus, über den guten Klang und wie er entsteht.

Hier finden Sie anschauliche Informationen und lernen die wichtigsten „Klangkiller“ kennen. So bekommen Sie einen Grundverständnis dafür, woran sich gute Boxen messen lassen müssen.

ab Seite

## **6 Technik »satt«**

bietet jede Menge technische Zusammenhänge und elektroakustisches Hintergrundwissen sowie das Thema Klangoptimierung und Einblicke in die Entwicklung und Geschichte von Nubert Lautsprechern und Geräten.

Die Ausführungen wenden sich an jene technisch interessierten Musik- und Heimkino-Liebhaber, die sich nicht von harten Fakten und messtechnischen Details abschrecken lassen.

Hier berichte ich auch über Neuentwicklungen, Modellpflege und Überarbeitungen.

Außerdem gebe ich Antworten auf aktuelle, schwerpunktmäßig auftretende Rückfragen.

Viel Spaß beim Lesen!

Ihr Günther Nubert

## Von Frequenzlöchern und anderen Bösewichten

Eine Box hat es wirklich nicht leicht, gut zu klingen.

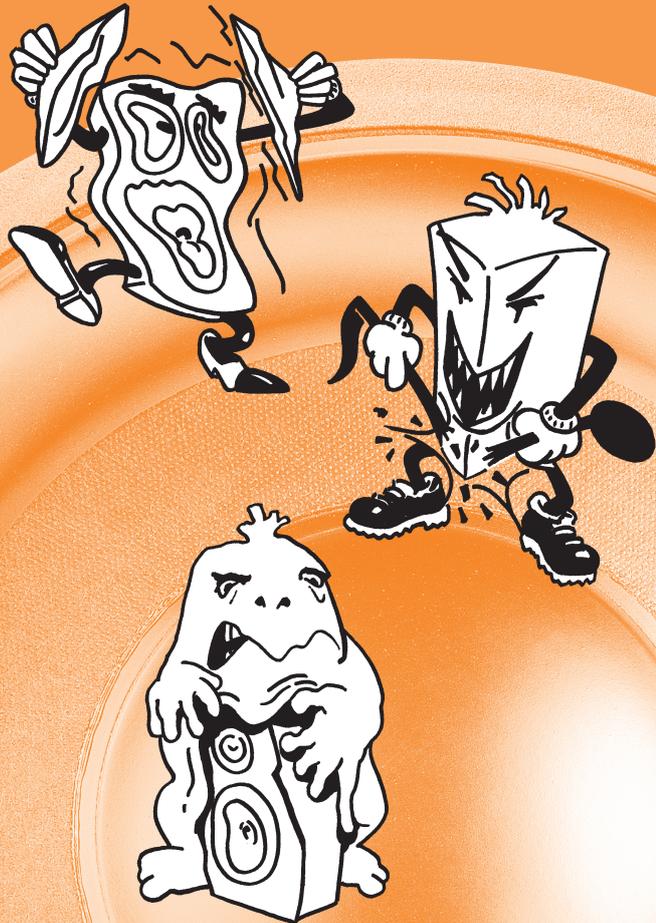
Pausenlos bemüht sich nämlich eine ganze Reihe Klangkiller, die Qualität einer Box zu verschlechtern, indem sie Unsauberkeiten und Verzerrungen unterstützen, das Original aber anknabbern oder unterdrücken.

Einige Bösewichte treiben ihr Unwesen, indem sie ihren Unrat abladen und zu Frequenzgangbergen und Resonanzspitzen auftürmen.

Andere lassen Töne auf Nimmerwiederhören verschwinden, indem sie Löcher in den Frequenzgang graben.

Nubert hat diese Klangkiller schon früh ausgemacht und sie erfolgreich unter Kontrolle bekommen.

Auf der nächsten Doppelseite werden wir Ihnen kurz zeigen, wie die übelsten Klangkiller agieren und wie Nubert sie stoppt.



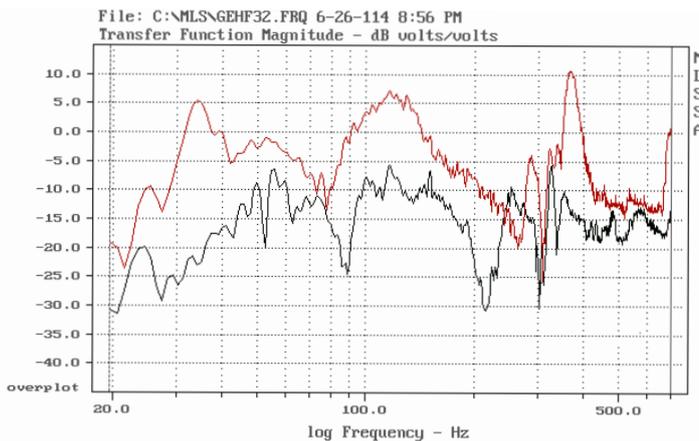


## Der Gehäuseschwinger

Für den Gehäuseschwinger besteht die ganze Welt der Musik aus drei oder vier Tönen, bei denen er richtig in Fahrt kommt. Auch wenn sich die Lautsprechersysteme noch so sehr um saubere und differenzierte Klänge bemühen, schnappt er sich daraus sehr erfolgreich einzelne Frequenzen und meint, zu jedem Anlass aus Leibeskräften mitmusizieren zu müssen!

Dem Treiben dieses vorlauten Gesellen und seiner Leidenschaft für monotonen Gebummel ist gar nicht so einfach Einhalt zu gebieten. Deshalb ist dieser Störenfried so weit verbreitet. Jedoch nicht bei Nubert!

So sind die Wände der Nubert Boxen mit computerberechneten Dämpfungselementen und aufwendigen Versteifungsmaßnahmen versehen, die nachhaltig jeglichen Gehäuse-Swing verhindern. Somit wird der gefürchtete Gehäuseschwinger gefesselt, geknebelt und ruhig gestellt.



Vergleichsmessung der Gehäuseresonanzen „Seitenwand-Mitte“ bei einer **Nubert Box** und einem **Fremdfabrikat** der gleichen Preisklasse.

Deutlich hörbar sind die um über 10 dB höheren Resonanzspitzen. Sie bedeuten, dass hier (bei gleicher Musiklautstärke) Dröhngeräusche mit mehr als der zehnfachen Leistung im Klang enthalten sind.

Am Beispiel der nuLine-Serie sieht man den aufwendigen Korpusaufbau mit seinen Versteifungen.



## Der Kantenbrecher

Ein Klangkiller der üblen Sorte, der besonders gerne den Frequenzgang verbiegt! Und das tut er so:

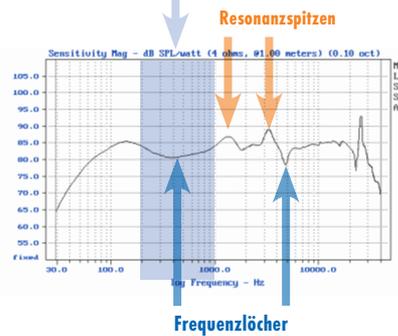
Wenn eine Box Töne abstrahlt, wollen diese sich nach allen Seiten ausbreiten. Müssen sie sich dabei beispielsweise an einer Kante vorbei winden, tritt der Kantenbrecher in Aktion und verbiegt die Töne so, dass Musik nicht nur verfälscht klingt, sondern auch nicht mehr optimal ortbar ist.

Solche Kanten hat leider auch das Gehäuse einer Lautsprecher-Box. Bei der nuBox- und nuLine-Serie konnte ein Großteil der üblen Auswirkungen mit extrem aufwendigen Frequenzweichen kompensiert werden.

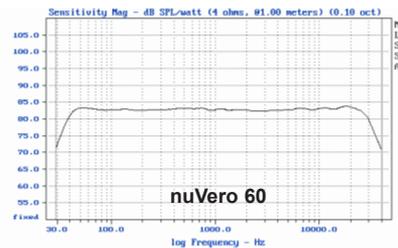
Darüber hinaus hat Nubert aber zwei wirkungsvolle Mittel gegen den Kantenbrecher entwickelt: die gebogene Schallwand der nuVero-Serie und die asymmetrische Hochtוןkalotte.

Gegen dieses Duo muss selbst ein so hinterhältiger Klangkiller wie der Kantenbrecher die Waffen strecken.

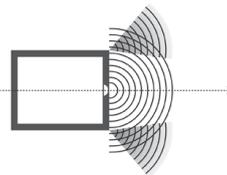
Messwahn - oder hört man das? Aber heftig! Schon bei -3 dB geht die Hälfte der Schall-Leistung verloren. Bei diesem »Loch« ist davon der ganze Grundtonbereich betroffen!



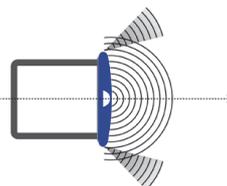
Hier haben die Bösewichte ihre Berge aufgehäuft und Gruben ausgehoben. Das Klangbild wird dadurch unangenehm und nasal (250-Euro-Box eines bekannten Herstellers).



Bei dieser Box haben sich die Klangkiller die Zähne ausgebissen: in allen Frequenzbereichen ideal präsent - ein traumhaft linearer Frequenzgang!



An Gehäusekanten von Boxen entstehen durch sogenannte »Kantenbrechung« zwangsläufig Unsauberkeiten im Frequenzverlauf.



Die konvexe Schallwand reduziert deutlich den Anteil der zum Hörer gerichteten Störungen und verbessert dadurch den Frequenzgang und die räumliche Abbildung (die Ortbarkeit der einzelnen Instrumente im Klanggeschehen).



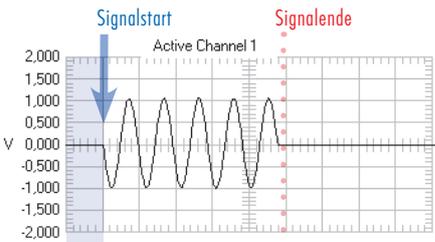
## Der Impulsbremser

Er macht den Klang der Box müde und langweilig, indem er knackigen Impulsen die Präzision raubt. Schlecht konstruierte Chassis und Frequenzweichen, die ohne die notwendige Sorgfalt entwickelt werden, sind die Domäne des Impulsbremsers, der sich wie ein Bremsklotz auf die Membranen legt. Kein Wunder, dass dann ursprünglich hart angerissene Gitarrensaiten oder trockene Trommelschläge so lahm klingen, dass man jede Lust verliert, mit dem Fuß zu wippen oder dem Daumen zu schnippen.

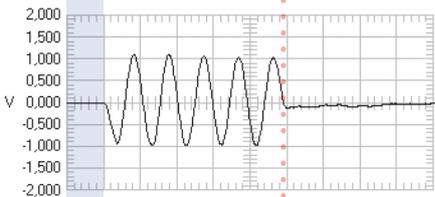
Die Chassis und Weichen der Nubert Lautsprecher sind dagegen auf absolute Impulstreue und extreme Schnelligkeit gezüchtet. Sie reagieren auf jedes Signal gedankenschnell und reproduzieren Musik mit genau der Spritzigkeit, die man von Liveveranstaltungen in Erinnerung hat.

Also: Die rote Karte für den Impulsbremser – dann klappt's auch wieder mit dem Fußwippen und Daumenschnippen...

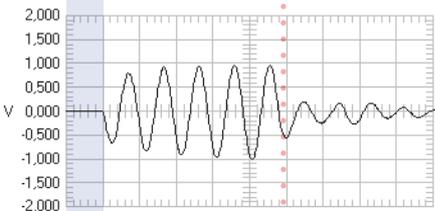
Impulsverarbeitung Tief/Mitteltönen-Lautsprecher mit der jeweiligen Frequenzweiche (Mikrofonentfernung 20 cm vor Mitte des Lautsprechers)



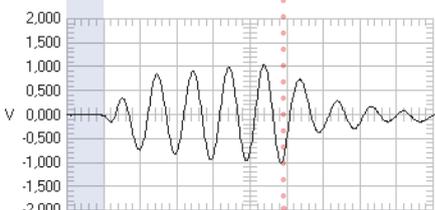
Dies ist das elektrische Signal, das vom Verstärker geliefert wird: »Burst-Signal« mit 5 Wellenzügen bei 1,5 kHz. Die Punktlinie markiert das Signalende. Bei einem idealen Lautsprecher würde das Signal hier ebenfalls enden.



Das akustische Signal des Tief/Mitteltöners der Nubert nuVero 4 (bis 2014) zeigt fast perfektes Impulsverhalten: blitzartiges Ein- und Ausschwingen, kaum Nachschwingen.



»High-End-Kompaktbox« der Preisklasse 1.200 Euro/Box. Recht gutes Einschwingverhalten, jedoch relativ träges Ausschwingen.



Kompaktbox der Preisklasse 250 Euro/Box eines weltbekannten HiFi-Spezialisten: Auffallend das besonders langsame Ein- und Ausschwingen.

## Keine Kompromisse...

Nubert Boxen repräsentieren seit über 40 Jahren den aktuellen Stand der Lautsprechertechnik und gehören nicht zuletzt deshalb zum Besten, was man für sein Geld bekommen kann. Maßgeblichen Anteil an diesem Zustand hat meine kategorische Einstellung zum Thema Qualität, wenn es um ein neues Modell geht: »Bevor wir einen Lautsprecher freigeben, der nicht hundertprozentig unseren Vorstellungen entspricht, lassen wir es lieber.« Hinter dieser kompromisslosen Haltung steht der von mir immer wieder gepredigte Glaubenssatz: »Ein Lautsprecher ist erst dann gut genug für den Kunden, wenn er auch gut genug für mich selbst ist.«

Um dieses Ziel zu erreichen, werden die drei Kernbereiche Chassis/Frequenzweiche/Gehäuse mit allergrößter Sorgfalt entwickelt und zu einer stimmigen Trilogie zusammengefügt. Grauzonen haben in diesem Konzept keinen Platz.

Die Entwicklung beginnt bei den Chassis – sozusagen dem »Fahrwerk« einer Box. Dabei stellen das permanente Beschleunigen und Abbremsen der Membran durch die Musikimpulse höchste Anforderungen an die Materialeigenschaften.

Glücklicherweise besteht zwischen der Nubert Speaker Factory und einem führenden Chassishersteller seit Jahrzehnten eine denkbar enge Zusammenarbeit, in deren Verlauf Topprodukte wie der legendäre Nubert Tief/Mitteltöner entstanden, der in Bezug auf Impulsverarbeitung eine Klasse für sich darstellt.

Dennoch: Kein Chassis ist perfekt. Deshalb ist es die Aufgabe der Frequenzweiche, Perfektion dort sicherzustellen, wo das Chassis systembedingt an seine Grenzen stößt. Das heißt, bei Nubert verteilt die Frequenzweiche nicht nur die Frequenzen auf unterschiedliche Chassis, sondern sorgt auch ganz besonders für ein superpräzises Ein- und Ausschwingverhalten der Membranen. Deshalb verwundert es nicht, dass selbst die Frequenzweiche unserer kleinen nuBox 313 bereits über 15 hochwertige Bauteile verfügt – ein Aufwand, den Sie bei keiner anderen uns bekannten Box dieses Preissegments finden werden. Und bei unserem Topmodell nuVero 140 tummeln sich sage und schreibe über 66 Bauteile höchster Qualität auf insgesamt vier Platinen.

Schließlich findet das akustische Verhalten der Boxengehäuse größte Aufmerksamkeit. Gerade dieses Thema wird oft unterschätzt, wenn nicht gar vernachlässigt. Nicht so im Hause Nubert. Erst aufwendige Finite-Elemente-Berechnungen auf einer leistungsstarken Workstation entschlüsselten das Geheimnis der optimalen Gehäusebedämpfung über den gesamten Frequenzbereich. Sind die drei Kernelemente Chassis/Frequenzweiche/Gehäuse zusammengefügt, folgt die eigentliche akustische Nagelprobe: der Hörtest. Dabei entscheidet sich, ob das, was im Labor vielversprechend begann, in der Praxis Bestand haben wird. Denn eines können auch die besten Messgeräte nicht: Das menschliche Ohr ersetzen. Und so passierte es immer wieder, dass sang- und klanglos endete, was scheinbar das Zeug zum großen Wurf hatte. Zum Glück blieben in den über vier Jahrzehnten der Boxenentwicklung bei Nubert solche Enttäuschungen aber die Ausnahme. Im Regelfall heißt es bei mir nämlich: »Diese Box würde ich sofort selber kaufen!«

Günther Nubert

## Klangentscheidende Faktoren im Umfeld guter Lautsprecher

Der Hörraum.....	Seite 7
Räume und Boxenaufstellung.....	Seite 8
Boxenauswahl und -aufstellung für hochwertige Basswiedergabe in geschlossenen Räumen .....	Seite 9
Double Bass Array .....	Seite 10
„Loudness-Effekt“ durch Lautsprecher.....	Seite 10
DSP-Systeme und Equalizer .....	Seite 10
Verstärkerklang .....	Seite 12
Class-D-Verstärker .....	Seite 14
Röhrenverstärker.....	Seite 14
Klangunterschiede bei D/A-Wandlern und CD-Playern .....	Seite 15
Schallplatte (LP/Vinylschallplatte) .....	Seite 15
Hörbarkeit von Phasenverlauf und „Group Delay“.....	Seite 16
„Schnelligkeit“ der Basswiedergabe .....	Seite 17
Bedeutung der unteren Grenzfrequenz .....	Seite 17
Hörbarkeit von Kabelunterschieden .....	Seite 18

## Technische Grundinformationen

Entwicklung der nuBox-Lautsprecherreihe (ohne Beschreibung der Centerspeaker) .....	Seite 22
Entwicklung der nuLine-Lautsprecherreihe .....	Seite 24
Entwicklung der nuVero-Lautsprecherreihe .....	Seite 27
Entwicklung der nuPro-Lautsprecherreihe.....	Seite 30
Klangunterschiede der Serien nuVero, nuLine und nuBox .....	Seite 32
Surround-Lautsprecher und Subwoofer .....	Seite 35

## Informationen für wirklich Technikinteressierte

Ausführliche Konstruktionsdetails der Nubert Boxen .....	Seite 40
Klangoptimierung mit Aktiven Tuning Modulen .....	Seite 47

### Zusätzliche Infos zur Lautsprechertechnik

Vergleich der Bassqualität von Subwoofern mit gut gemachten, großen Standlautsprechern .....	Seite 49
Beschreibung technischer Unterschiede bei Subwoofern und Messvergleiche .....	Seite 50
Klirren und „Stülp-Effekte“ durch Nicht-Linearitäten des „Force Factor“ [BL(x)] in Magnetsystemen von Lautsprechern .....	Seite 53
Flächenstrahler .....	Seite 54
Leichte Membranen und Impulspräzision .....	Seite 55
Alterung von Schaumstoffsicken .....	Seite 55
Neodym-Magneten: Informationen und Philosophie .....	Seite 56
Analogfilter und IIR-Filter mit hoher Flankensteilheit und perfekter Summierung der einzelnen Frequenzbänder im Frequenz- und im Zeitbereich .....	Seite 58

### Messtechnik/Messvergleich-Beispiele

Burst-Impulsverarbeitung verschiedener Tief/Mittelton-Lautsprecher .....	Seite 60
Messvergleich 4 verschiedener Kompaktboxen .....	Seite 61
Rearspeaker-Vergleich .....	Seite 62
Beispiele unterschiedlich unterdrückter Raumresonanzen bei der Frequenzgangmessung .....	Seite 63
Waterfall-Darstellungen nuBox 381 .....	Seite 64
Ausschwingverhalten eines hochwertigen Tief/Mittelton-Lautsprechers mit unterschiedlich aufwendigen Tieftönerweichen .....	Seite 65
Ausschwingverhalten unterschiedlich aufwendiger Hochtönerweichen .....	Seite 66
Kommentar zu Messverfahren/Messprotokollen .....	Seite 67

### ...und das »Dauerthema« Impedanz:

8-Ohm-Verstärker mit 4-Ohm-Boxen?!	Seite 70
------------------------------------	----------

# Klangentscheidende Faktoren im Umfeld guter Lautsprecher

Schon als 14-Jähriger, also 1963, als sich in Deutschland langsam die Stereotechnik durchsetzte, war mein Hobby neben der Radiobastelei, den besten Klang bei der Musikwiedergabe zu erreichen. Es erschien schon damals klar, dass die Qualität der Lautsprecher dabei am wichtigsten ist. Später haben sich aber zwei weitere Punkte als ähnlich wichtig herausgestellt:

- Die Qualität der Aufnahme (es gab damals nur wenige Aufnahmen, die das Klangbild nicht zu einem „Einheitsbrei“ vermischt haben).
- Die Akustik des Hörraums und die Sorgfalt, mit der die Lautsprecher aufgestellt werden.

Mit dem größten Aufwand, den meine „HiFi-Kumpels“ und ich leisten konnten (damals hohe Preise!), haben wir uns immer bessere Tonbandmaschinen angeschafft, um die vergängliche Klangqualität der damals besten Stereolangspielplatten für „unbegrenzte“ Zeit zu konservieren.

Nach mehrere Jahre andauerndem, ungeduldigem Warten kam dann endlich im Jahr 1981 (noch vor der Einführung der CD) die Digitaltechnik in Form des „Beta-PCM“-Systems heraus, mit dem der Verschleiß der Vinyl-LPs ein Ende hatte.

Fast alle der von uns gesammelten mehreren hundert LPs, die vorher nur ein- oder zweimal abgespielt wurden, haben wir dann mit dem Prozessor „Sony PCM-F1“ auf Betamax-Videokassetten digital archiviert.

Als dann im August 1982 die ersten CDs herauskamen, waren wir sehr überrascht davon, dass sie deutlich heller klangen als unsere PCM-Aufnahmen der Analog-LPs, weshalb dann der Höhenregler am Verstärker öfters nach links gedreht werden musste.

Die helle Abmischung war sehr wahrscheinlich ein Fehler der damaligen Toningenieurere, die sich offenbar riesig darüber gefreut haben, nun jede Menge hohe Tonlagen auf den Datenträger bannen zu können.

Nach einigen Jahrzehnten hat sich aus unserer Sicht immer wieder bestätigt, dass der Klang einer guten Stereoanlage vor allem von den drei Faktoren Aufnahmequalität, Lautsprecherqualität und Raumakustik abhängt. Alle anderen Gesichtspunkte wie die Qualität der Verstärker, der Digital/Analog-Wandler (zum Beispiel CD-Player), der Kabel oder sonstiger Komponenten haben weit geringeren Einfluss auf den Klang.

Das Hobby HiFi stellt aber auch eine reizvolle Spielwiese dar, auf der eine Reihe von wunderlichen Ideen, Vorurteilen und Wunschgedanken liebevoll gepflegt werden. Wenn das Experimentieren mit exotischem Zubehör Freude bereitet, ist es vielleicht nicht so wichtig, ob die Wirkung einem richtigen Hörtest oder einer physikalischen Überprüfung standhält.

## 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 optimalen als auch in problematischen 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, saubereren 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 Zweikanal-musikwiedergabe – also klassisches Stereo – „klingen“ Räume, die leicht überdurchschnittlich mit Möbeln und Vorhängen ausgestattet sind, meist am besten; also mit Nachhallzeiten von 0,5 bis 0,6 Sekunden (T60). Bei Surround-Anlagen darf der Raum kürzere Nachhallzeiten haben, also noch etwas trockener sein.

Im mittleren und höheren Frequenzbereich werden Reflexionen, die beispielsweise 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.

Wenn der Raum eigentlich eine ordentliche Akustik hat, die Lautsprecher aber neben stark reflektierenden Seitenwänden stehen, können kleinflächige Absorber (etwa 50 x 50 cm) von Vorteil sein, um einerseits den Raum nicht noch weiter zu dämpfen, andererseits die „direkten Spiegelungen“ der Schallquellen zu vermindern.

In modernen Designwohnungen gibt es häufig Steinböden und große Fensterflächen. Wenn dann auch noch auf Vorhänge verzichtet wird, gibt es fast keine Chance für zufriedenstellenden Klang. Eventuell können hier transparente Absorber-Elemente integriert werden, ohne zu stark in die Architektur einzugreifen. Die mikroperforierten Folien oder Kunstglasplatten sind auch als Jalousien, Lamellenvorhänge oder Stellwände unter der Bezeichnung „Microsorber“ erhältlich.

In der Tonstudio-Praxis werden alle Arten von Reflexionen natürlich als „Verfärbung“ empfunden. Deshalb wird hier oft ein Raum-Grundriss gewählt, der einem Kinderdrachen ähnelt und bei dem die Winkelverhältnisse so gewählt sind, dass die Wandreflexionen *am Tonmeister vorbei* geleitet werden. Oder der vordere Bereich des Raumes wird 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 mit den – für das Hörempfinden so wichtigen – „early reflections“ in Wohnräumen sind viele dicke Bücher geschrieben worden; diese Thematik wird aber so kontrovers dis-

kutiert, dass wir einfach *ganz subjektiv* als HiFi-Fans *beobachtend* an das Phänomen Musikwiedergabe in geschlossenen Räumen herangehen.

Einige der aufwendigen Computerprogramme für Raumsimulationsmodelle, die in den letzten Jahren auf dem Markt erschienen sind, stellen vor allem für große Hallen beziehungsweise Fußballstadien ein hilfreiches Werkzeug dar und können eventuell auch in Wohnräumen die Experimentierphase bei der Boxenaufstellung verkürzen. Besonders sinnvoll sind diese Programme für Akustikspezialisten – auch zur Simulation der Abstrahleigenschaften von Lautsprechern. Für HiFi-Fans zeigen die Ergebnisse aber meistens das, was man *sowieso schon* 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 sich Lautsprecher und Hörplatz nicht direkt an der Wand befinden sollten, wenn kein „Double Bass Array“ eingesetzt wird (die zugehörige Technik wird auf *Seite 10* angedeutet und einige Seiten weiter hinten genauer beschrieben).

### 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** oder **5 : 2** hat (der Raum also weder exakt quadratisch noch zu schlauchförmig ist).
- Wenn die Raumfläche etwa 20 bis 25 m<sup>2</sup> beträgt, erreicht man oft schon mit guten Regalboxen ein feines Klangbild. Größere Räume bekommt man oft nur durch aufwendige Maßnahmen in den Griff.
- Wenn man das „Stereodreieck“ im Vergleich zur Raumgröße testweise zunächst relativ klein wählt (z. B. 1,5 m Kantenlänge), kann man sich an das persönlich als optimal empfundene Verhältnis zwischen Direkt- und Diffusschall herantasten.
- Wenn sich die Lautsprecher und der Hörplatz an der längeren Wand des Wohnraums befinden, bekommt man meist eine „breitere Bühne“. Dann muss man aber Lautsprecher und Hörplatz oft relativ nahe an der Stirn- und Rückwand des Raumes positionieren, was die Dröhngefahr verstärken kann. Bei Aufstellung an den *Schmalseiten* des Raumes kann man oft größere Stirn- und Rückwandabstände wählen und somit den „Dröhnbereichen“ des Raumes besser ausweichen.
- Wenn die Lautsprecher von der akustisch härteren Raumseite in Richtung auf die stärker gedämpfte Seite strahlen, wird das Klangbild oft lebendiger. Parkettboden in der Zimmerhälfte, in der die Lautsprecher stehen, „klingt“ meist besser als Teppichboden.
- Wenn die Zimmerdecke eher giebelförmig oder asymmetrisch strukturiert ist.
- Wenn an schallharten Seitenwänden kleinflächige Schalldämmelemente (circa 50 x 50 cm) angebracht sind, die eine „direkte Spiegelung“ der Schallquelle reduzieren.
- Wenn in größeren Räumen überlegt konstruierte, große Standboxen mit mindestens je zwei 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: ein „Double Bass Array“, zum Beispiel mit vorne zwei großen Standboxen oder zwei Front-Subwoofern und hinten (auch bei Einsatz „ohne Surround“) mit zwei Subwoofern – oder zwei Standboxen, die als Subwoofer betrieben werden. Die hinteren Woofer werden dabei mit Laufzeitausgleich („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 begegnen, 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. Derselbe Lautsprecher klingt auf einem Stativ von vielleicht einem Meter Höhe wesentlich klarer – aber substanzloser und dünner.

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

Bei größeren Standboxen kann man aber mit Hilfe mehrerer Basschassis erreichen, dass die Box substanzreich erscheint und gleichzeitig die Dröhnneigung vermindert (Beschreibung siehe *Seite 45*).

Neben der Suche nach Perfektion in den Lautsprechereigenschaften 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!

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.

Recht gut ist normalerweise ein Abstand von 30 bis 50 cm zur Raum-Vorderwand, optimal etwa 1 m (bzw. etwa ein Viertel der Raumlänge) und 60 cm bis 1 m zu den Seitenwänden.

Bassreflexöffnungen *auf der Boxen-Rückseite* sind akustisch meistens vorteilhaft, obwohl dadurch der Wandabstand *einer* der beiden Bassquellen (Tieftöner und BR-Rohr) kleiner ist und deshalb die erste Stehende Welle etwas stärker angeregt wird. (Die zweiten und dritten Längsmoden werden von der Öffnung bei mittelgroßen Standboxen in typischen Wohnräumen kaum noch angeregt, weil deren Pegel oberhalb ca. 30 bis 35 Hz steil abfällt. Bei *vorne* angebrachten Reflexrohren sind die Strömungsgeräusche – vor allem bei Orgelmusik – viel stärker hörbar und meist wesentlich störender als die Nachteile hinten montierter Rohre.)

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 Hohlraumresonanz von weit über 100 Hz. Weil oberhalb 100 Hz kein nutzbares Signal aus den Reflexöffnungen kommt, bringt es auch in diesem Punkt 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 (zum Beispiel bei direkter Wandbefestigung), empfehlen wir, die Öffnung mit einem Pfropfen aus Schaumgummi oder leicht zusammengedrückter Watte ein wenig zu dämpfen. 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 auch 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 manchmal verwendeten Silikatfasern nicht „kurzbrechend“. Eine Gesundheitsgefahr durch eingeatmete Fasern ist damit also ausgeschlossen.

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

### BOXENAUSWAHL UND -AUFSTELLUNG FÜR HOCHWERTIGE BASSWIEDERGABE IN GESCHLOSSENEN RÄUMEN

Für **Surround-Effekte** ist die beste Aufstellung einfach die, die am meisten Spaß macht.

Für **HiFi-Wiedergabe** versucht man, die Eigenresonanzen des Wohnraumes so zu reduzieren, dass die bestmögliche und natürlichste Basswiedergabe möglich wird.

Bei Musikwiedergabe im Wohnraum treten praktisch immer Raumresonanzen auf, die den Klang negativ beeinflussen.

In den meisten Räumen gibt es (je nach Raumgröße und Geometrie) drei „dominante“ Schalldruck-Überhöhungen (also „Dröhnfrequenzen“) zwischen etwa 25 und etwa 80 Hz – sowie deren Vielfache – die für Surround-Effekte eindrucksvoll sein können, bei Musikwiedergabe aber meist stören.

Sie werden von sogenannten „stehenden Wellen“ verursacht, die sich zwischen den parallelen Wänden des Raumes aufbauen (vorn/hinten, links/rechts und zwischen Decke/Boden).

Für eine von den Lautsprechern abgestrahlte Wellenfront lassen sich in Wohnräumen meist etwa 30 Raumdurchläufe (vorne/hinten-Reflexionen) beobachten, bis das Signal weitgehend abgeklungen ist.

Immer wenn eine, zwei oder drei „halbe Wellenlängen“ eines Basssignals dem Abstand der parallelen Wände entsprechen, pas-

sen die Zeitverhältnisse genau für diese Frequenzen so, dass dieses Signal nach den ersten beiden Wand-Reflexionen einen weiteren „Schubs“ von den Lautsprechern bekommt. Dann erhöht sich der Schalldruck nach jedem Durchlauf und kann Spitzen von bis zu 20 dB erreichen.

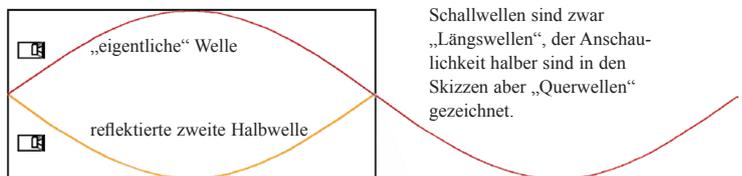
Diese Frequenzen lassen sich einfach ausrechnen. Für die erste Raummode gilt:

*Schallgeschwindigkeit geteilt durch die doppelte Raumlänge, Raumbreite oder Raumhöhe.*

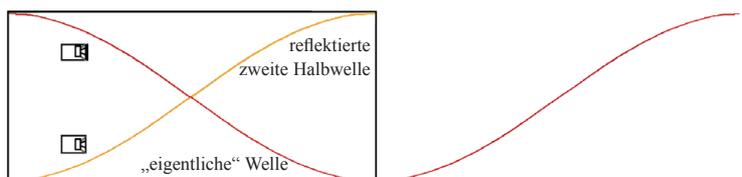
*Für einen Raum mit 6 m Länge also:  $343 \text{ m/s} : 12 \text{ m} = 28,6 \text{ Hz}$ .*

Die zweite und dritte Mode liegt dann bei ca. 57 und 86 Hz.

- Diesen Überhöhungen kann man wirkungsvoll durch den Einsatz mehrerer Subwoofer in Verbindung mit großen Absorbieren begegnen, was aber recht mühselig ist und viel Feinarbeit erfordert.
- Mit großen Standboxen oder zwei Wölfen, die links und rechts neben den Hauptlautsprechern aufgestellt sind, werden die *Lateralmoden* (also: links/rechts) schon stark reduziert. Dabei bildet sich eine Wellenfront, die den Raum von vorn nach hinten ohne große seitliche Wandreflexionen durchläuft.
- Meist lassen die Gestaltung und die Größe des Wohnraumes eine optimale Aufstellung bassintensiver Boxen nicht zu: nämlich die Platzierung der Lautsprecher (bzw. Woofer) mit *1 bis 1,5 m Abstand von der Stirnwand des Raumes!* Damit könnte man wirkungsvoll (die oft unangenehmsten) „vorne/hinten Resonanzen“ mindern.

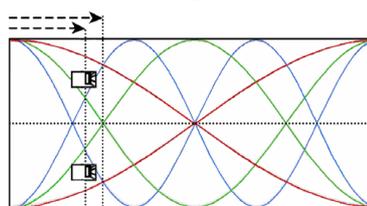


Erste Längsmode (Schall-„Schnelle“) mit einer Wellenlänge, die der doppelten Zimmerlänge entspricht.



Erste Längsmode (Schall-„Druck“) mit einer Wellenlänge, die der doppelten Zimmerlänge entspricht.

20 bis 25% der Raumlänge



Schalldruck-Maxima erste bis dritte „Längs-Mode“ (bei „schallharten“ Front- und Rückwänden).

In den Druck-Maxima werden stehende Wellen *am stärksten* angeregt. Sie liegen an Stirn- und Rückwand und jeweils eine halbe Wellenlänge von der Wand entfernt.

Die geringsten Anregungen ergeben sich für die einzelnen Frequenzen jeweils „im Knoten“ der Schalldruckdiagramme.

Man sieht, dass es *keine* Knoten gibt, in denen sich die Minima für alle Wellenlängen (Frequenzen) befinden.

Um die drei ausgeprägtesten Raumresonanzen zu lindern, muss man einen Kompromiss eingehen.

Erfahrungsgemäß bekommt man die am wenigsten dröhnende Wiedergabe, wenn der Abstand der Basslautsprechermembranen/ Bassreflexrohröffnungen von der Stirnwand des Raumes etwa 20 bis 25% der Raumlänge beträgt. (Wenn auf den Einsatz eines „Double Bass Arrays“ verzichtet wird.)

### DOUBLE BASS ARRAY



Ein „Double Bass Array“ bringt zur Optimierung der Basspräzision das mit großem Abstand *absolut beste Ergebnis* aller uns bekannten Verfahren und Aufstellungen – zumindest in rechteckigen Räumen.

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

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

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

**2.** Eine sehr aufwendige, 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.

**3.** Das in diesem Kapitel beschriebene „Double Bass Array“ ist eine wesentlich elegantere, wirksamere und unauffälliger Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen. Wenn an der Rückwand dieses 6 m langen Raumes Subwoofer stehen, die mit einem „time delay“ von 18 Millisekunden (also ca. 3 ms pro Meter Raumlänge) gegenphasig angesteuert werden, stellen sie „aktive Absorber“ 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.

Genauere Beschreibung hierzu auf unserer Webseite in der Rubrik

„Wissen“ / „Basswiedergabe“: <http://www.nubert.de/downloads/dba.pdf>

Zu diesem Thema empfiehlt sich auch die Dokumentation „Optimierung der Tieftonwiedergabe“ von Anselm Goertz, Markus Wolff und Lutz Naumann: [http://www.nubert.de/downloads/optimierung\\_der\\_tieftonwiedergabe.pdf](http://www.nubert.de/downloads/optimierung_der_tieftonwiedergabe.pdf)

### »LOUDNESS-EFFEKT« DURCH LAUTSPRECHER

Es gibt Lautsprecher, die so klingen, als wäre der Bassregler des zugehörigen Verstärkers aufgedreht. Bei manchen dieser Boxen verliert sich der basslastige Klangeindruck mit zunehmender Lautstärke. Jetzt könnte man meinen, dass es sich hierbei um eine Art „erwünschten Loudness-Effekt“ handelt. 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 Membranhubs. 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

DSP-Systeme (Digitale Signalprozessoren) können unter anderem die Aufgaben analoger Schaltungen übernehmen, beispielsweise Frequenzweichen, Equalizer, Dynamik-Kompressoren und so weiter. Darüber hinaus ist es in der Praxis möglich, Frequenzgang und Phasenverhalten unabhängig voneinander einzustellen (FIR-Filter-Technik).

### 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 Frequenzgangeinbruch (bzw. eine schmale Spitze) einer Lautsprecherbox linearisiert werden soll.

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 etwa von fast allen Koaxialsystemen hervorgerufen werden), sind beispielsweise gehörmäßig noch irgendwie erträglich, solange man nicht versucht, diese Frequenzgänge mit DSP-Systemen geradenzubiegen!

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, die das Klangbild extrem metallisch machen.

## DSP-Systeme und Equalizer zur »Raumkorrektur« eines Klangspektrums

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 Korrektursignal abzuleiten. Wenn dann den Boxen zusammen mit der Musik die „umgekehrte“ Frequenzgangveränderung des Raumes angeboten wird, sollen die Raumeinflüsse kompensiert werden.

Zugegeben, vor vielleicht 30 Jahren dachten auch wir, dass der Klang einer Beschallungsanlage dann wohl gewinnen würde, wenn der (durch gleitenden Sinus, Frequenzmische oder durch Schmalbandrauschen gewonnene) Frequenzgang am definierten Sitzplatz eines Hörers durch Equalizer linearisiert werden würde! Erst die katastrophalen Hörergebnisse dieser Versuche bei der Kompensation des *Gesamtfrequenzbereiches* 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 Impulszusammensetzung *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 eingesaugte) 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 Signalprozessoren oder parametrischen Equalizern (mit mehr als etwa 6 dB/oct. Filtersteilheit) verkehren sich sogar gravierend ins Gegenteil: Für *die* Punkte, an denen sich das Messmikrofon – 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 *eingeschwungenen Zustand* (also für langsam ein- und ausschwingende Instrumente wie große Orgelpfeifen).

Um einen im Alltag normalen Einbruch von beispielsweise 10 dB aufzufüllen, benötigt man eine Verzehnfachung der Verstärkerleistung. Dabei entsteht absolut sicher an vielen 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 Schalldrucküberhöhungen, die durch die Raummoden beziehungsweise „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. Das Wegfiltern von Resonanzen kann den Klangeindruck also angenehmer machen, doch geht dabei auch Information verloren.

Der Schlag einer Bassstrommel 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 *eingeschwungenes 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 Bassanhebung oder -absenkung für Abhilfe.

Die Vor- und Nachteile dieses Verfahrens (im Vergleich zu überhaupt keiner Korrektur) sind ebenfalls nicht leicht zu bewerten. Uns erscheint eine sanfte Raumkorrektur insgesamt als erwägenswert.

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 aufwendigen 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 Double Bass Arrays oder „günstiger akustischer Behandlung“ des Raumes, weit besser aus.

## DSP-Systeme, Klangregler, Equalizer und Loudness-Regler 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 Klangauswirkungen 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.

Viele hochwertige Stereoanlagen klingen bei kleinen Lautstärken viel zu dünn. 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. 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!*

In meine Privatanlage ist deshalb ein selbst konstruiertes, spezielles „Loudness“-Lautstärkeregel-Modul mit Klangreglern zwischen Vor- und Endverstärker geschaltet. Wegen einiger fehlender Bedienungselemente war mir die sehr hochwertige Verstärker-Kombination vorher *zu puristisch*. Dieses spezielle Modul haben wir dann in unseren ersten Vorverstärker „nuControl“ integriert. Damit ist die Anlage jetzt auf Wunsch im Klang regel- und auch fernbedienbar – und macht nun endlich richtig Spaß.

### Möglichkeiten und Grenzen von DSP-Systemen

Wenn man sich *ähnlich intensiv* mit allen Grundproblemen der DSP-Technik beschäftigt, wie mit dem Bau guter Lautsprecherboxen, kann man damit konventionelle Aktiv- und Passivboxen – vor allem messtechnisch – merklich übertreffen.

Mit DSP-Komplettboxen oder externen DSP-Systemen für Aktiv- oder Passivlautsprecher kann der Laufzeitunterschied von Hoch-, Mittel- und Tieftönen zum Ohr komplett ausgeglichen werden. Es ist damit also 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 (um 600 Euro/Paar) sinnvoll.

Weil der Frequenzgang früherer FIR-Filter-Prozessoren nur bis etwa 250 Hz hinabreichte, ließen sich diese Systeme jedoch leider genau da, wo eine technische Verbesserung deutlich hörbar wäre, *nicht* einsetzen: zur Kompensation der Signalverzögerung im Bassbereich! Trotzdem erhielt man damit (vor allem messtechnisch) so saubere Schallwandler, wie sie auch in der dann neuen, (um 1500 Euro höheren) Preisklasse nicht selbstverständlich waren.

Obwohl die Sprungfunktion (step response) einer so linearisierten Lautsprecherbox messtechnisch wunderschön aussieht, sollte man oberhalb etwa 1 kHz 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 kommt (z. B. von CD oder DAT) *auf digitaler Ebene* bleibt und das DSP-System schon vor der Digital/Analog-Wandlung einschleift. (Dabei muss das Musiksinal ja auch keine erneute Analog/Digital-Wandlung durchlaufen.). Bei analogen (oder analog-ähnlichen) 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 ge-

ringer als die Nachteile durch die zusätzliche 44,1-kHz-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 der Wandler von einzelnen erfahrenen Hörern bei ausgesuchten Musikpassagen – beispielsweise bei Bigband-Jazz – eindeutig erkannt.

Durch Umsteigen der DSPs auf 24-Bit-Systeme mit 96-kHz-Samplingfrequenz wird der saubere Bereich also wahrscheinlich bis auf etwa 28 kHz erweitert und 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 vielen 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. Mehrere unserer Hörtests brachten 2013 den erstaunlichen Sachverhalt zu Tage, dass sogar schon der Übergang von 44,1 kHz Samplingfrequenz auf 48 kHz so große Auswirkungen hat, dass damit die Unterscheidung zum Analogsignal kaum noch erkennbar war. Der Schritt von 48 kHz/16 Bit auf 96 kHz/24 Bit brachte dann die Sicherheit, keinerlei Unterschied zum Original wahrzunehmen. Insofern erscheinen die Samplingfrequenzen 192 und 384 kHz also als absolut verzichtbar. Wir erwarten einen starken Anstieg der Nachfrage, wenn hochauflösende 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.

### VERSTÄRKERKLANG

Eigentlich sollte ein Verstärker keine Auswirkungen auf den Klang haben. Außer in der Signalgröße sollte das vom Verstärker an die Lautsprecher abgegebene Frequenzgemisch in allen Punkten dem Eingangssignal entsprechen. Das ist aber nicht so einfach zu erreichen.

Die am häufigsten angegebenen Technischen Daten, wie Klirr-

faktor, Frequenzgang und Dämpfungsfaktor haben mit der Neutralität eines Verstärkers nicht allzu viel zu tun. Diese Werte sind bei fast bei allen Transistorverstärkern wesentlich besser, als es für „perfekte“ Klangqualität nötig ist.

Es gibt aber eine Reihe von Schmutzeffekten, für die keine Grenzwerte definiert sind. Wir hatten schon einige Verstärker im Labor, die z. B. bei einem kräftigen Trompetenstoß die Tieftöner der angeschlossenen Box deutlich auslenken ließen. Wenn dann noch zusätzlich Bässe wiedergegeben werden sollen, ist der lineare Hub deutlich eingeschränkt.

Außerdem bedarf es einiger Kniffe, damit der Verstärker weitgehend immun gegenüber der phasenabhängigen Stromaufnahme des angeschlossenen Lautsprechers ist – und auch die „Rückströme“ problemlos verkräftet, die eine Box (beim Abklingen von Impulsen) wie ein Dynamo in den Verstärker-Ausgang presst.

Wir testen die klanglichen Beeinflussungen durch Verstärker auf drei Arten:

•Direkter Hörvergleich

Zwei Verstärker werden an eine Umschaltanlage angeschlossen, die von uns speziell für den Verstärkervergleich entwickelt wurde. Es werden sowohl die „Plus“-Ausgänge als auch die „Minus“-Ausgänge jedes Kanals umgeschaltet, damit einerseits Masseschleifen vermieden werden können, andererseits auch der Vergleich von Verstärkern möglich ist, die in Brückenschaltung arbeiten. Durch den Einsatz spezieller parallel geschalteter Goldkontaktrelais werden sehr niedrige Übergangswiderstände und hohe Kontaktsicherheit erreicht.

•Reihenschaltungsvergleich – Schaltbild A) rechts oben

Das Signal von der Tonquelle wird zu 2 Trennverstärkern (Buffer) geführt, damit sich Rückwirkungen zwischen den Eingängen des zu prüfenden Verstärkers und dem Eingang des anerkannt guten Labor-Verstärkers ausschließen lassen. Der Ausgang des zu testenden Verstärkers wird über einen einstellbaren Spannungsteiler und einen äußerst hochwertigen Studioübertrager schaltbar auf den Eingang des Laborverstärkers gelegt. Insgesamt wird also der zu prüfende Verstärker (mit einem Lautsprecher oder einem ohmschen Widerstand als Last – oder ohne Last) zusammen mit dem Übertrager mit einem Stück Draht verglichen. Ein hörbarer Einfluss des Studioübertragers auf den Klang kann mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

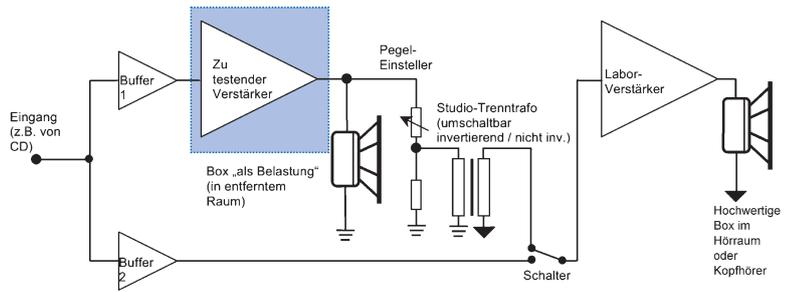
Damit kann also sehr direkt und ohne jegliche Fehlerquelle leicht festgestellt werden, ob der zu prüfende Verstärker das Signal in irgendeiner hörbaren Form verändert.

Das Lautsprecherpaar, das den zu prüfenden Verstärker belastet, muss in einem so weit entfernten Raum stehen, dass es den Hörtest nicht stören kann.

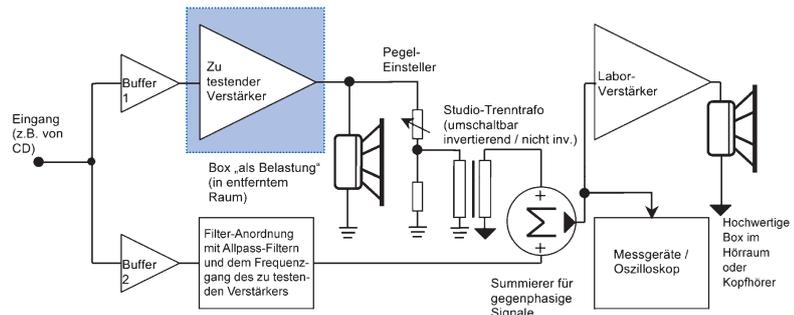
•Differenzverstärkervergleich – Schaltbild B) rechts oben

Mit einem passiven einstellbaren Bandpass (meist etwa 15 Hz bis 50.000 Hz) wird der Frequenzgang des zu prüfenden Verstärkers möglichst exakt nachgebildet. Der Ausgang des zu testenden Verstärkers wird mit einem Spannungsteiler so abgeschwächt, dass es dem Originalingangssignal entspricht, „erdfrei“ gemacht, gegenphasig mit dem Eingangssignal addiert und an den Eingang des Laborverstärkers weitergeleitet.

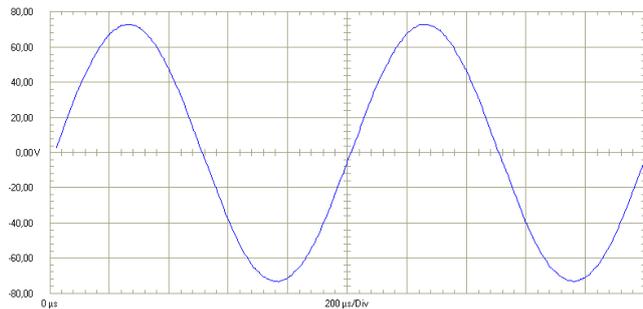
Im Idealfall wäre dann nichts mehr zu hören. Dieses Signal kann aber beliebig verstärkt werden, so dass dann fast nur noch die Verzerrungen, Rauschen (und eventuell eine Brummkomponente) als Differenz zwischen Ein- und Ausgangssignal hörbar sind. Dieser Test ist besonders spannend, weil damit die Unsauberkeiten des zu testenden Verstärkers beliebig vergrößert und immer hörbar gemacht werden können.



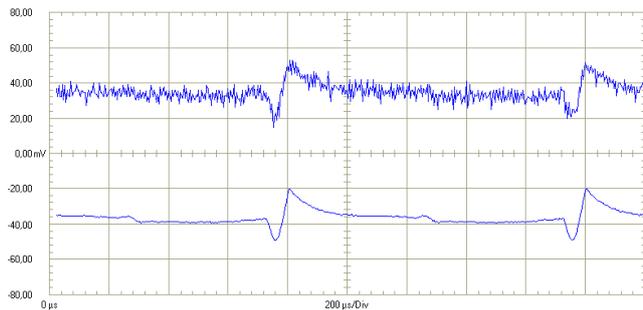
A) Reihenschaltungsvergleich



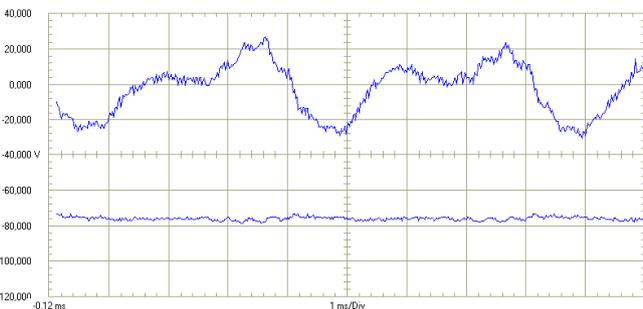
B) Differenzverstärkervergleich



Ein guter Verstärker, Nennleistungsangabe 500 Watt pro Kanal am „clip point“ (670 W/4 Ω). Das Sinussignal sieht einwandfrei aus, das Differenzsignal zeigt schon „clipping“.



Differenzsignal – oben: mit Rauschen, unten: Durchschnitt aus 64 Messungen.



Oben: als Beispiel ein Musiksignal mit knapp 100 Watt peak (150-Watt-Verstärker). Unten: Differenz Ausgangs-/Eingangssignal, angehoben um 60 dB (Faktor 1000).

### Ergebnisse der Hörtests

- An „gutmütigen“ Lautsprechern, deren Stromaufnahme im Vergleich zur angelegten Spannung bei keiner Frequenz eine höhere Phasenabweichung als etwa  $\pm 45$  Grad aufwies, konnte in sorgfältig durchgeführten Blindtests bei einem großen Prozentsatz ( $>40\%$ ) der von uns verglichenen Verstärker bei kleineren und mittleren Ausgangssignalen (bis etwa zur Hälfte der Maximalleistung) bei den *ersten beiden Testmethoden* tatsächlich keinerlei Klangunterschied ausgemacht werden (in Linearstellung eventuell vorhandener Klangregler).

- Bei einigen wenigen Verstärkern konnte ein Hang zur Aggressivität oder zu einer gewissen „Weichheit/Sanftheit“ dingfest gemacht werden, was aber nicht dramatisch war und mit Hilfe des Höhenreglers teilweise ausgeglichen werden konnte.

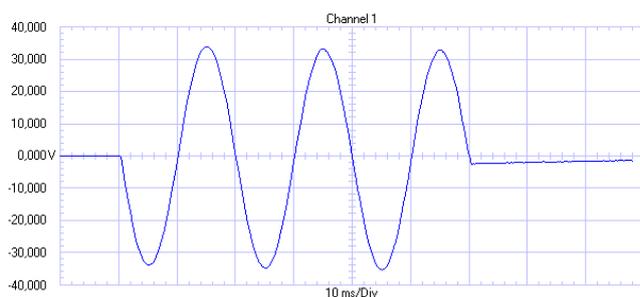
- Beim Test nach der zweiten Methode verlor sich überraschenderweise ein Großteil dieser Verfärbungen, wenn der Verstärker statt an Lautsprechern mit *Leistungswiderständen* – und erst recht ohne Last – betrieben wurde.

Für manche Verstärker stellen bestimmte Lautsprecher also eine besonders schwierige Last dar, weil einerseits Strom und Spannung nicht in Phase sind, andererseits beim Abklingen von Impulsen vom Lautsprecher Strom in den Ausgang des Verstärkers einspeist wird. Daraus können auffällige Verzerrungen entstehen.

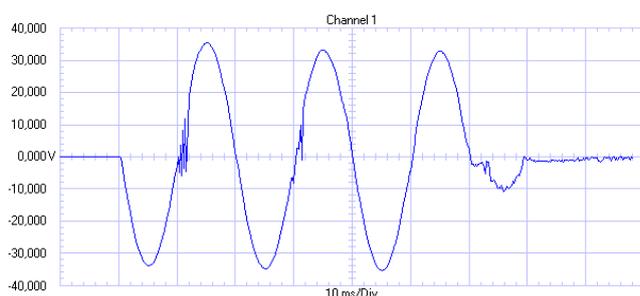
- Bei hohen Lautstärken (zum Beispiel mit Klaviermusik) und kurzzeitig leicht übersteuerten Verstärkern gab es deutliche Unterschiede in der „Kratzigkeit“ des Klangeindrucks – von „fast unmerklich übersteuert“ (obwohl das „Clipping“ am Oszilloskop deutlich zu sehen war) bis „deutlich kratzig“.

Am besten hat uns in diesem Punkt ein Verstärker mit integriertem Softclipping gefallen.

- An kritischen Lautsprechern, die durch starke Phasendrehungen oder Impedanzunterschreitungen aufgefallen sind, gab es einige krasse Ausreißer im Klang verschiedener Verstärker! Bei einigen wenigen Exemplaren, die zum Beispiel auch in preisgünstigen Surround-Receivern zu finden waren, gab es so große Unverträglichkeiten mit den Lautsprechern, dass sich die Boxen wesentlich „dünnere“ oder „kratzigere“ anhörten.



50-Hz-Burst einer Endstufe mit sehr guten technischen Daten an einem Lastwiderstand 4 Ohm



50-Hz-Burst der gleichen Endstufe mit hochwertiger 4-Ohm-Lautsprecherbox als Last

Manche Verstärker schalten bei Übersteuerungsspitzen kurzzeitig ab, bei anderen ist die Bedienung gewöhnungsbedürftig.

Wir können hier leider keine Hersteller nennen, aber ein Blick in das *nubert-forum.de* ist bestimmt hilfreich.

### CLASS-D-VERSTÄRKER

Die meisten Class-D-Verstärker, die wir in den letzten Jahren geprüft haben, eignen sich gut für Subwoofer. Wenn sie für den *gesamten* Hörbereich eingesetzt wurden, war jedoch die Mehrzahl dieser „digitalen“ Audioverstärker den besten verglichenen Analogverstärkern (Class A/B) leicht unterlegen. Im Direktvergleich klangen sie im oberen Mittenbereich bis zu den Höhen oft ein wenig rauer, das Klangbild änderte sich auch in Abhängigkeit von der Lautsprecher-Impedanz.

Während der immer wieder durchgeführten Hörvergleiche und messtechnischen Prüfungen stellten sich einige Schaltungskonzepte heraus, die beide Probleme vermeiden und die wir klanglich von sehr guten „konventionellen“ Verstärkern nicht mehr unterscheiden können.

Digital-Verstärker arbeiten mit Pulsweiten-Modulation. Die Vorteile sind vor allem der hohe Wirkungsgrad bei mittleren und großen Ausgangsleistungen und die kompakte Bauform.

Zwei dieser Konzepte haben wir in der ersten und zweiten Generation unserer nuPro-Familie ausgewählt, ein drittes Schaltungskonzept, das sich besonders für sehr hohe Leistungen bei höchster Qualität eignet, haben wir in den letzten Jahren ständig weiterentwickelt und neben Analogverstärkern im Labor für Klangtests verwendet.

Die neueste Generation dieser Plattform wird seit Sommer 2015 in unserer Leistungs-Endstufe nuPower D eingesetzt.

### RÖHRENVERSTÄRKER

Der Klang einiger Röhrenverstärker tendierte bei kleineren Lautstärken eher in die Gruppe „weich/sanft“. Diese oft hoch gelobte Eigenschaft stellt unserer Meinung nach aber eine (manchmal vielleicht „schönfärberische“) Klangbeeinflussung dar, die zwar ihre Liebhaber hat, dem Wunsch nach höchster Wiedergabetreue aber sicher entgegenläuft. Auch der höhere Ausgangswiderstand verändert den Frequenzgang unterschiedlicher Lautsprecher in Abhängigkeit von deren Impedanzverlauf.

Bei Übersteuerung verhalten sich Röhrenverstärker anders als Transistorverstärker: Zum Musiksignal kommt eine eher „singende“ statt eine „kratzige“ Komponente hinzu – in diesem Punkt ist das sicher ein angenehmeres Verhalten als bei Transistorverstärkern, wenn sie ohne Softclipping-Schaltung arbeiten! Bei Musikerverstärkern werden die dabei auftretenden deutlichen Klangverfärbungen dem „individuellen Sound“ der jeweiligen Gitarre“ zugerechnet – gehören also zum jeweiligen Musikinstrument.

Wir können bestätigen, dass gute Transistorverstärker neutraler klingen als die besten Röhrenverstärker. Außerdem sind gut konstruierte Röhrenverstärker mit hohen Leistungen ( $>2 \times 150$  Watt) selten, vom Energiehaushalt nicht sehr ökonomisch und nicht gerade günstig im Kaufpreis. Für Musikliebhaber, die den Klang von Röhrenverstärkern lieben, wäre es sicher ökonomischer, die zugehörigen Verfärbungen (abschaltbar) in einer zusätzlichen Stufe eines Transistorverstärkers zu generieren – was technisch recht einfach realisiert werden kann und im Musikerbereich häufig verwirklicht wird.

## KLANGUNTERSCHIEDE BEI D/A-WANDLERN UND CD-PLAYERN

Der Hörvergleich zwischen zwei oder drei CD-Playern ist einer der einfachsten Tests, die man zu Hause durchführen kann. Fast jeder Verstärker hat mehrere CD-, Tuner-, oder AUX-Eingänge, die technisch identisch sind. Dann kann man die zu vergleichenden Player zeitgleich starten und direkt anwählen.

In den ersten „CD-Jahren“ gab es zwei miteinander konkurrierende Techniken mit 14 oder 16 bit, die aber oft nur „näherungsweise“ exakt waren. Unterschiede waren vor allem bei Pianissimo-Passagen oder beim Ausklingen von Instrumenten zu hören. Bei einem Player ging der abklingende Klavierton problemlos und sauber in die darauf folgende Pause über, bei einem schlechteren Modell war das Ausklingen mit „leicht brabbelnden“ Geräuschen verbunden.

Inzwischen ist die Präzision der D/A-Wandler so gut, dass auch preisgünstige Geräte gehörmäßig nicht mehr – oder nur noch in winzigsten Nuancen von den teuersten, technisch besten Modellen unterschieden werden können. Wenn überhaupt Unterschiede halbwegs zuverlässig erkannt wurden, waren sie so minimal, dass sie nur einen winzigen Bruchteil der Unterschiede zwischen zwei hochwertigen Lautsprechern darstellten.

## SCHALLPLATTE (LP/VINYLSCHALLPLATTE)

Es hatte schon etwas Feierliches, im März 1973 die neueste, lang ersehnte Pink-Floyd-LP „The Dark Side Of The Moon“ erstmals aufzulegen. Noch schnell mit dem Pinselchen eventuelle Nadelverunreinigungen entfernt – und los ging's ...

Die beiden Laufwerke Thorens TD-125 MK II und Sony PSE-4000 waren praktisch über jeden Zweifel erhaben (der PSE-4000 gehört *noch immer* zum Labor-Inventar). Wir hatten Freude an wunderschöner Mechanik, mehreren Kilo schweren Plattentellern, an den besten Tonarmen, Tonabnehmern und MM/MC-Vorverstärkern. Alle paar Monate wurden die neuesten Tonabnehmer unter die Lupe genommen und mit dem Studiosystem EMT TSD 15 verglichen. Mit speziellen Messschallplatten wurden die Skating-Kräfte an den SME- und EMT-Tonarmen für Trocken- und Nassabstastung geprüft und in Tabellen eingetragen. Ständig wurden die Ergebnisse von Tonabnehmer- und Tonarmhörtests der Fachzeitschriften mit den eigenen Erfahrungswerten verglichen. Da gab es Nadelträger aus exotischen Legierungen, aus Rubin oder gar aus Diamant mit unterschiedlichen Radien und Schliffen der Abstastnadeln. Manche Systeme klangen eine winzige Nuance natürlicher, hatten aber Probleme bei Fortissimostellen. Manche hatten stärkeres „Leerrillenfauchen“, dafür etwas weniger Knistern. In diesen Punkten konnte kein anderer Tonabnehmer an das EMT-Studiosystem heranreichen.

Es ist nicht ganz einfach, die kleinen Ausgangsspannungen von MC-Systemen (typisch 0,2 bis 0,5 mVeff) so rauscharm und brummfrei zu verstärken, dass die Störgeräusche weit unter dem Rauschen der Leerrille liegen.

Die LPs wurden mit einer Vakuum-Matte an die schweren Plattenteller gesaugt, um eventuellen Höhenschlag zu reduzieren und die Scheibe ruhig zu stellen. Abgespielt wurde mit geerdeten Mitlaufbesen, die manchmal *selbst* etwas Musik machten, was aber immer noch angenehmer war als gelegentliche Knackser durch elektrostatische Entladungen. Oder es wurde *nass* abgespielt – aber möglichst gleich beim ersten Abspielvorgang auf eine perfekt justierte Studio-Bandmaschine mit 38 cm/s Halbspur

überspielt. Die Kosten für das Bandmaterial waren etwa drei mal so hoch wie der Kaufpreis der Platte. Dafür hatte man damit die LPs (wie man damals dachte) „für die Ewigkeit“ konserviert. Jedoch löste sich nach 20 bis 25 Jahren beim Großteil der Studiobänder die Magnetschicht vom Trägermaterial, so dass die Köpfe verschmierten oder es beim Umspulen staubte. (Um wichtige Liveaufnahmen zu retten, mussten beim Überspielen auf DAT oder CD alle paar Minuten die Tonköpfe der Bandmaschine gereinigt werden.)

Zurück zur Pink-Floyd-LP: Die Bandmaschine wurde gestoppt, weil sich das Loch der Platte nicht exakt in der Mitte befand und Gleichlaufschwankungen zu hören waren. Also mit einer Biberzange aus dem runden Loch ein *Oval* geknabbert.

### Zum Klang der Vinyl-LP

Wir hatten das Glück, von einem Tonstudio als *jener* Ort ausgewählt worden zu sein, dem man seine „Sicherungskopien“ anvertraut und die Erlaubnis, diese Kopien – mit der gebotenen Vorsicht – auch gelegentlich abspielen zu dürfen. Das ist ein unschätzbare Vorteil, weil es die einzige Möglichkeit darstellt, *wirkliche* Klangunterschiede zwischen dem „Mutterband“ und der zugehörigen LP zu finden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass Musikpassagen im mittleren Lautstärkebereich kaum vom Mutterband zu unterscheiden sind, solange es sich um den „äußeren“ Rillbereich der LP handelt. Vom etwa 8 cm breiten Radius, der zwischen der Einlaufrille bis zum Ende der Musikaufzeichnung genutzt wird, setzt *meist etwa ab der Mitte* eine gewisse Unsauberkeit ein, die in der Nähe der Auslaufrille meist sogar ohne Direktvergleich sofort erkannt wurde. Hier schnitten auch Tangentialarme, die bei der Abstastung praktisch keine Skating-Kräfte entwickeln und sich im Abtastwinkel nur wenig von der Schneiddose unterscheiden, kaum besser ab. Alle bisher untersuchten Tangentialarme brachten (durch ihren „Transportmechanismus“) aber schlechtere Fremdspannungsabstände als konventionelle Arme.

Im Vergleich zur CD hat die LP ziemlich katastrophale technische Eigenschaften. In Klirrverhalten, Fremdspannungsabstand und Übersprechdämpfung ist die CD mindestens um den Faktor 100 besser als die LP – sie kennt auch keine Tonhöhenschwankungen. Trotz dieser bescheidenen Eigenschaften reicht der Klang einer Vinyl-LP bei mittleren Lautstärken für gutes Klangempfinden aus, wenn man von eventuellen Gleichlaufschwankungen absieht.

Die Signale, die von CD, SA-CD und DVD-Audio geliefert werden, sind identisch mit der Studioproduktion.

Bei der LP werden die Signale sowohl in der Schneiddose als auch vom Tonabnehmer (ähnlich einem Lautsprecher und einem Mikrofon) von „elektrisch“ in „Schall“ (mechanisch) und dann wieder zurück „gewandelt“.

Wenn man von den Störgeräuschen absieht, sind die Übertragungseigenschaften bei diesen Schallwandlungen einer Kette aus typischen Lautsprechern und Messmikrofon (im schalltoten Raum und definierter Mikrofon-Position) jedoch überlegen.

Das Dumme daran ist nur, dass damit eine – im Vergleich zu digitalen Tonträgern *eigentlich sinnlose* – „Verstärker/Wandler/Tonabnehmer-Kette“ *zusätzlich* in den Übertragungsweg der Stereoanlage eingeschleift wird, deren Auswirkungen auf den Klang deutlich größer sind als die ganz leicht „metallische Einfärbung“ bei der CD-Wiedergabe.

Die neu entwickelten, zentnerschweren Riesenplattenspieler zum Preis vieler tausend Euro faszinieren durch unglaublich hochwertige Verarbeitung. Fans von edler Mechanik kommen so auf ihre Kosten – ähnlich wie die Fans hochwertiger mechanischer Armbanduhren, die ebenfalls kaum eine Preisgrenze kennen.

Einen Vorteil gibt es jedoch im Bereich der Edelchronometer: hier geht es um Freude an der Mechanik, um Langlebigkeit und um Prestige – aber niemand behauptet, solch ein Schmuckstück ginge ähnlich genau wie eine 50-Euro-Quarzuhr!

Es gibt absolut beeindruckend aufgenommene Vinyl-LPs, mein persönlicher Favorit ist immer noch Lincoln Mayorga's „Missing Link“. Dass diese Platte *deshalb* so gut klingen soll, weil sie im Studio „quasi Live“ (ohne Tonbandmaschine) direkt auf die Masterdisc geschnitten wurde, leuchtet mir nicht ein, weil es praktisch unmöglich ist, einen Unterschied zu hören, wenn diese LP dann auf eine gute Studiobandmaschine kopiert wird.

Was aber absolut nicht mehr zeitgemäß ist: Bei Pianissimo-Stellen braucht man ein ganz schönes Stück Leidenschaft (oder Nostalgie), um das Knistern und „Rillenfauchen“ hinzunehmen. Bei sehr hohen Lautstärken kann es durch den Mikrofonieeffekt auch zu Klangverfälschungen oder gar zu Rückkopplungen kommen (Brummen oder „Heulen“).

Noch vor der Einführung der CD (im Jahre 1982) wurde bei uns in den Ladengeschäften mit der digitalen Bandmaschine „Beta-PCM“ endlich eine Vorführung von Komponenten ohne das Knistern und den Verschleiß von Vinyl-Platten möglich. Das „Zelebrieren“ von Schallplattenwiedergabe ist in Verkaufsräumen (im Gegensatz zur Atmosphäre zu Hause) eher lästig und zeitraubend. Also warteten wir sehnsüchtig auf die Einführung der CD.

Als es endlich so weit war und im August 1982 die ersten CDs ausgeliefert wurden wie Ry Cooders „Bop Till You Drop“ (die schon im Jahr 1979 digital aufgenommen wurde), eine ABBA-CD oder die Chopin-CD mit dem Pianisten Claudio Arrau (wohl die erste CD überhaupt?), haben wir schnell festgestellt, dass zwei dieser CDs *deutlich heller* klingen als die entsprechenden LPs!

Logisch war das nicht! Wenn die Vinyl-LP von Ry Cooder mit dem PCM-Gerät (von analog auf digital) aufgenommen wurde, konnte man diese Aufnahme im Direktvergleich gehörmäßig praktisch nicht von der LP unterscheiden! Die Compact Disc klang aber deutlich heller!

Offensichtlich hatten sich die Toningenieure jahrzehntlang darüber geärgert, dass sie (wegen der begrenzten Aussteuerbarkeit) nicht zu starke Höhen auf die LP packen durften. Bei der CD gab es diese „Fessel“ nicht mehr – und es wurden massenweise zu hell abgemischte CDs auf den Markt geworfen. Der Höhenregler am Verstärker bekam reichlich Arbeit!

Die CD-Player der ersten Generationen klangen darüber hinaus auch noch etwas höhenbetonter (beziehungsweise „metallischer“) als heutige Geräte, aber auch auf den neuesten CD-Playern klingt die Ry Cooder CD viel zu hell.

Darüber hinaus ist inzwischen aber auch zu beobachten, dass viele aktuelle CDs in der Dynamik „ingeschrumpft“ werden.

Wahrscheinlich aus diesen Gründen kann man schon irgendwie verstehen, dass manche Vinyl-Fans den „guten alten, warmen LP-Sound“ lieben.

Die Schlussfolgerung, dass die analoge Aufzeichnungstechnik der Digitaltechnik überlegen sein soll ist aber *offensichtlich einfach falsch*. Für „Digitalskeptiker“ wäre es aufschlussreich, ob sie im

Blindtest eine LP und eine davon gemachte 96 kHz/24 Bit-Aufnahme klanglich unterscheiden können – uns ist das in vielen Hörtests noch nie gelungen.

Aber selbst die Archivierung der LP mit einem „normalen“ CD-Recorder (44,1 kHz/16 Bit) ist praktisch nicht vom Original zu unterscheiden: Sie hat ebenfalls den „guten alten, warmen Sound“ der Vinyl-LP. (Trainierte Hörer können im Direktvergleich bei wenigen Musikstücken gerade noch winzige Unterschiede erahnen, was aber schon bei einer Sampling-Rate von 48 kHz praktisch nicht mehr feststellbar ist.)

Die meisten Studioaufnahmen, die inzwischen zur Produktion von Vinyl-LPs herangezogen werden, haben die 96 kHz/24 Bit Technik. Wo soll der Sinn darin sein (außer wegen einer gehörigen Portion „Nostalgie“), in eine Datenleitung zwischen zwei „optimale“ verlustlose Strecken einen Engpass mit Beeinträchtigung des Übertragungsverhaltens einzufügen?

Möglicherweise gibt es den Effekt, dass gewisse Störungen bei der Wiedergabe von Musik die Intensität der Klangempfindung irgendwie steigern können. Anders ist es schwer erklärlich, warum gerade diese „vorsintflutliche“ Technik ausgerechnet in der „High-End-Szene“ und bei vielen Musikern wieder beliebter wird!

Man handelt sich immer eine ganze Schar von klanglichen Nachteilen ein – egal wie hoch der technische Aufwand beim Abspielgerät ist. Der Fortschritt von der 78-UpM-Schellackplatte zur Vinyl-LP war wesentlich kleiner als der von Vinyl zur CD. Aus technischer Sicht ist Musikhören mit Vinyl-LPs einfach nicht mehr zeitgemäß.

Mit logischen Argumenten kommt man aber der „rituellen Handlung“, eine Vinyl-LP abzuspielen, nicht bei. Oft geht es dabei nicht so sehr um den Klang, sondern um Entspannung – zum Beispiel bei gedämpftem Licht, mit einem Glas Rotwein...

Wenn man das Ritual der japanischen Teezeremonie einfach durch „Teetrinken“ ersetzen würde, ginge wohl einiges an „Feierlichkeit“ verloren.

## HÖRBARKEIT VON PHASENVERLAUF UND »GROUP DELAY«

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

Das Ohr ist *dann* sehr sensibel, wenn zum Beispiel der linke Kanal einer Stereoanlage gegenüber dem rechten Kanal phasenverschoben ist. Das führt unter anderem zu sehr deutlichen Veränderungen der Richtungswahrnehmung.

Bei Phasenverschiebungen, *die in beiden Kanälen gleich sind*, kann man aber oberhalb etwa 1,5 kHz praktisch keine hörbaren Unterschiede mehr feststellen – selbst dann, wenn man die Hörtests im Direktvergleich mit durchstimmbaren Allpass-Filtern durchführt, die eine Gruppenlaufzeit von Frequenzweichen vierter Ordnung (24 dB/oct.) aufweisen.

Im tieferen Frequenzbereich, zum Beispiel bei Übergängen vom Bass- zum Mitteltonbereich in typischen Mehrweglautsprechern und – je nach Raumakustik – im Bereich der Übernahmefrequenz zwischen bisherigen Subwoofern und Satelliten-Boxen, sind Unterschiede im „group delay“ (und damit in der Phasenlage) aber deutlich hörbar.

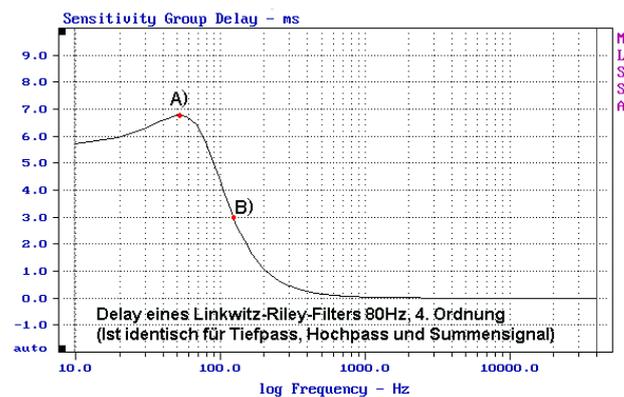
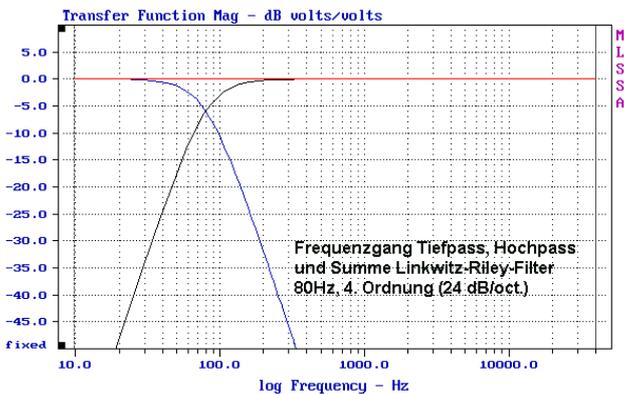
## »SCHNELLIGKEIT« DER BASSWIEDERGABE

Auch eine optimal ausgelegte „klassische“ Subwoofer-Weiche, deren Summensignal (Woofer + Satellit) einen *absolut perfekten Frequenzgang* hat, bewirkt eine frequenzabhängige Signalverzögerung, die von der Steilheit der Filter und der Trennfrequenz zwischen Satellit und Woofer abhängt.

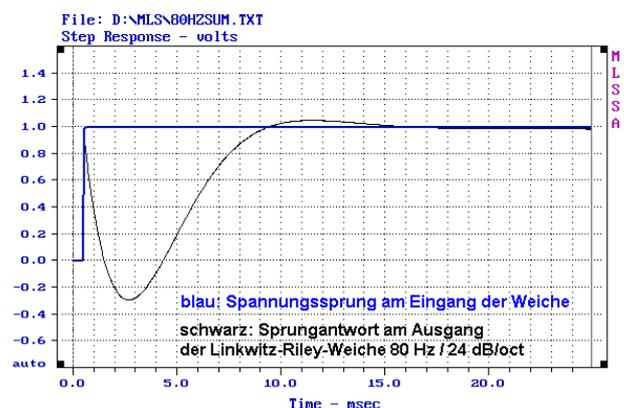
Bei der *akustischen Summierung* von Signalen gleicher Phasenlage beträgt der Pegel des Woofers und der Satelliten bei der Trennfrequenz jeweils  $-6\text{ dB}$  (Linkwitz-Riley-Filter).

Sehr häufig werden Linkwitz-Riley-Filter 4. Ordnung ( $24\text{ dB/oct.}$ ) mit einer Trennfrequenz von  $80\text{ Hz}$  eingesetzt.

Das ergibt sowohl im Woofer *als auch in den Satelliten* eine Verzögerung von etwa  $6,8\text{ Millisekunden}$  bei etwa  $50\text{ Hz}$  und führt dazu, dass das akustische Signal zwischen  $20$  und  $75\text{ Hz}$  um über „2 Meter Luftlinie“ verzögert wird! (Bei etwa  $120\text{ Hz}$  immer noch um  $1\text{ Meter}$ )



- A) ca.  $6,8\text{ ms}$  delay entsprechen etwa einer Entfernung von  $2,30\text{ Metern}$ .  
(Die Laufzeit des Schalls beträgt knapp  $3\text{ ms}$  pro Meter)  
B) bei ca.  $120\text{ Hz}$  →  $3\text{ ms}$  Laufzeit



Dieses „Hinterherhinken“ im Bassbereich ist aber auch bei vielen Standlautsprechern anderer Hersteller weit verbreitet, weil hier oft ähnlich „steil“ getrennt wird. Bei **unseren** Standlautsprechern ist diese Problematik berücksichtigt und führt zu präziserer, „knaackigerer“ Basswiedergabe. Bei Standlautsprechern mit mehreren Tieftönern war es – im Gegensatz zu Subwoofern – auch bisher schon möglich, diese Signalverzögerungen durch „flacher“ ausgelegte Filter zu vermeiden.

Allerdings werden im Bassmanagement der meisten Surround-Receiver am Ausgang „Sub Pre Out“ bzw. LFE *noch steilere Filter* eingesetzt, wodurch sich noch weit größere Signalverzögerungen ergeben können.

Der Einfluss der steilen  $80\text{-Hz}$ -Filterung ist auch bei den „Super-Woofern“ der hohen Preisklassen vorhanden und bei der Messung der Sprungantwort (step response) deutlich zu sehen.

Diese Auswirkungen konnten bisher nur durch den Einsatz von DSP-Systemen mit FIR-Filtern kompensiert werden.

## Neuer Lösungsansatz für die „Schnelligkeit“ von Subwoofern

Auf Seite 58 wird eine neue, inzwischen patentierte Filteranordnung beschrieben, mit der erstmals eine steile Frequenztrennung mit drastisch reduzierter Gruppenlaufzeit möglich wurde.

Diese neue Technik ermöglicht nun Sub/Sat-Kombis mit der gleichen Impulspräzision, wie es mit den besten Standboxen möglich ist.

Wir haben mit „nuControl“ einen Vorverstärker entwickelt, mit dem die Subwoofer-Verzögerung durch die Frequenztrennung von knapp  $7$  auf unter  $2\text{ Millisekunden}$  reduziert werden kann – und damit unter die Erkennbarkeitsschwelle gedrückt wird. Für diese Filteranordnung, die auch eine perfekte Frequenzganglinearität (besser als  $\pm 0,5\text{ dB}$ ) ermöglicht, haben wir einen Gebrauchsmusterschutz erhalten.

## BEDEUTUNG DER UNTEREN GRENZFREQUENZ

Wir wurden schon öfters gefragt, wie „wichtig“  $20\text{ Hz}$  (relativ zu beispielsweise  $35\text{ Hz}$ ) überhaupt sind! Erst mit einer  $20\text{-Hz}$ -Fähigkeit des Woofers ist „das Beben“ bei Filmeffekten ( $20$  bis  $30\text{ Hz}$ ) voll zu spüren!

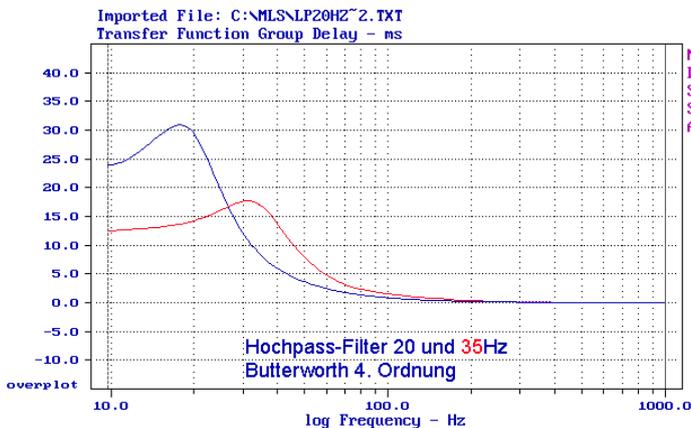
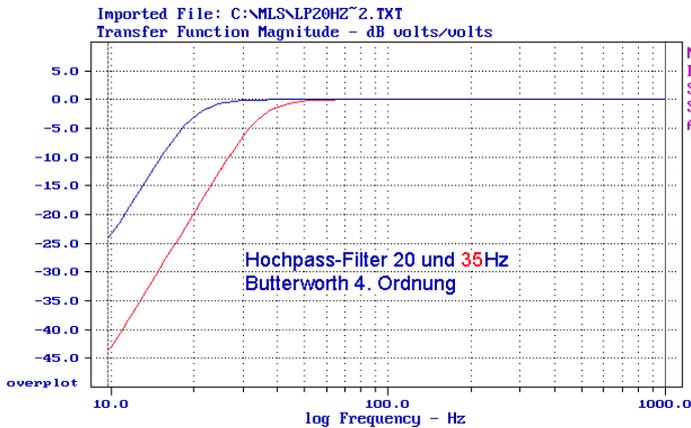
Eine wichtige Frage ist aber auch die Hörbarkeit des *group-delay-Anstiegs* im extremen Tiefbassbereich.

Ein Woofer, der bis  $20\text{ Hz}$  hinunter reicht, hat bei  $35\text{ Hz}$  deutlich weniger Signaldurchlaufzeit als ein Woofer, der „nur“ bis  $35\text{ Hz}$  hinab reicht. Weil Frequenzen unter  $35\text{ Hz}$  in Musiksignalen recht selten vorkommen, kann er bei typischer Musik Bassfrequenzen oberhalb  $35\text{ Hz}$  also „schneller“ und „präziser“ klingen.

Klar ist, dass man bei  $20\text{ Hz}$  in großen Räumen kräftige Druckunterschiede bekommen kann – je nachdem, ob man sich etwa in der Raummitte oder in der Nähe der Stirnwand/Rückwand des Raumes befindet. (Bei  $20\text{ Hz}$  besonders dann, wenn die Raumlänge etwa  $8,5\text{ m}$  beträgt: Das entspricht der „ersten Raumlängsmode“ bei  $20\text{ Hz}$ , also einer Schallwellenlänge von  $17\text{ m}$ .)

In kleinen Räumen gibt es bei so tiefen Frequenzen keine stehenden Wellen – dafür wirkt ein kleiner Raum im Zusammenspiel mit tiefreichenden Woofern als „Druckkammer“ und hat dann einen umso stärkeren Basspegel, je tiefer die Frequenz wird.

In kleineren Räumen wäre also ein „Tiefstbassklangregler“ sinnvoll, der eine einstellbare Steilheit zwischen 6 und 12 dB/oct. und eine einstellbare Eckfrequenz (z. B. 30 bis 50 Hz) hat. Ansonsten sind hier die Probleme eher geringer als in großen Räumen.



## HÖRBARKEIT VON KABELUNTERSCHIEDEN

Lautsprecher-, Cinch-, Digital- und Netzkabel

### Lautsprecherkabel

Das Thema „Kabelklang“ wird sehr kontrovers diskutiert. Es ist nicht immer leicht, eine Grenze zwischen der Freude am Experimentieren und Scharlatanerie zu ziehen. Manche HiFi-Fans haben die Vorstellung, ein Kabel hätte eine gewisse Ähnlichkeit mit einer Wasserleitung und man müsse „Engstellen“ im Übertragungsweg vermeiden, um den Stromfluss nicht zu behindern. Andere glauben, dass die Kapazität oder Induktivität von Lautsprecherkabeln für den Klang bedeutend sind und durch besondere Bauformen oder Materialien gemildert werden sollten.

#### •Hörtests

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 weitmäsiges Moskitonetz, das mit einem LED-Strahler beleuchtet wird, damit man nicht sehen kann, was dahinter aufgebaut ist. Wenn mehr als drei Testhörer in Räumen durchschnittlicher Wohnzimmergröße urteilen sollen, muss die zweite Reihe um mindestens 30 cm erhöht sitzen, um Abschattungen zu vermeiden.

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, DA-Wandler, 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 „Oberguru“ für ein totales Desaster im Resultat).

Eines der größten Probleme bei Hörtests ist die Erwartungshaltung der Hörer. Die Bereitschaft, das zu hören, wovon man schon vorher überzeugt ist, dominiert so stark, dass es „verboten“ ist, die zu vergleichenden Komponenten bekannt zu geben. Ansonsten gewinnen grundsätzlich die Produkte, die optisch edler erscheinen oder aus irgendetwelchen Gründen den besseren Ruf haben.

#### •Geschwindigkeit der Elektronen in Kabeln

Wenn der Strom in einem Kabel mit annähernd Lichtgeschwindigkeit übertragen wird, bedeutet das noch lange nicht, dass sich die *Elektronen* mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Es ist eher so wie bei dicht gepackten Tischtennisbällen in einem Staubsaugerschlauch: Fast im gleichen Moment, in dem man einen Ball an einem Ende hineinsteckt, fällt ein anderer hinten raus!

Bei Stromstärken von 10 A pro mm<sup>2</sup>, bei denen sich ein Kupferkabel schon merklich erwärmt, beträgt die „Driftgeschwindigkeit“ der Elektronen etwa 0,73 mm/s.

#### •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 zum Beispiel bei 7 m Kabel mit dem Querschnitt 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> der Fall.

Mit 2 x 4-mm<sup>2</sup>-Kabeln ist man bei dieser Länge (selbst bei Boxen mit stark schwankendem Impedanzverlauf) auf der sicheren Seite.

#### •Induktivität/Kapazität

Beim Aufrollen von zweiadrigen Leitungen entsteht (für die meisten Leute überraschend) *keine* Induktivität! Die Induktivität, die in der *einen* Ader aufgebaut wird, wird in der *zweiten* Ader wieder kompensiert! Das funktioniert so gut, dass man kaum Unterschiede zwischen gestreckt ausgelegten und aufgerollten Zwillingsleitungen messen oder hören kann.

Nur sollte man die beiden Adern nicht über eine größere Länge aufspießen, so dass dazwischen keine nennenswerte Fläche aufgespannt wird.

Als Beispiel: Eine preisgünstige, 50 m lange Zwillingsleitung mit 2 x 2,5 mm<sup>2</sup> (z. B. nuCable), die unregelmäßig auf einer Kabeltrommel mit 18 cm Breite und 12 bis 20 cm Wickeldurchmesser aufgerollt ist, hat eine Induktivität von etwa 30 uH und bewirkt an typischen 4-Ohm-Lautsprechern einen Höhenabfall von unter 1 dB bei 20 kHz.

Wenn man lediglich *eine Ader* dieser Trommel verwendet, misst man etwa 1,4 mH und der Höhenabfall beträgt über 20 dB bei 20 kHz!

Die Kapazität zwischen den Leitern dieser Kabeltrommel beträgt etwa 5 nF, die daraus resultierende Veränderung des Frequenzgangs ist abhängig vom Leistungsverstärker kaum messbar. Bei einer Verzehnfachung dieses Wertes beträgt die Frequenzgangbeeinflussung typischerweise noch unter 0,05 dB.

### ●Skin-Effekt

Bei Kabeln mit (rundem) Kupfer-Querschnitt von mehr als 0,7 mm<sup>2</sup> erhöht der „Skin-Effekt“ bei hohen Frequenzen den Widerstand (gegenüber dem von Gleichstrom). Die Leitfähigkeit wird dadurch reduziert, dass die Elektronen zur Oberfläche des Leiters drängen – und damit die Mitte der Querschnittsfläche kaum noch leitet. Bei 20 kHz steigt der Widerstand eines Kabels von 2,5 mm<sup>2</sup> und rundem Querschnitt um etwa 22%. Das hat zur Folge, dass bei einer 2 x 2,5-mm<sup>2</sup>-Lautsprecher-Leitung mit 5 m Länge der Widerstand von 0,07 Ohm auf ca. 0,085 Ohm steigt, was den Pegel einer 4-Ohm-Box (an einem Verstärker mit „unendlich hohem Dämpfungsfaktor“) einen Pegel-Abfall von 0,15 dB im Bassbereich und etwa 0,18 dB bei 20 kHz reduziert. Bei Kabeln mit deutlich höherem Leitungsdurchmesser ist der Skin-Effekt stärker ausgeprägt. Bei 2 x 6 mm<sup>2</sup> und 20 m Länge erhöht sich der 20-kHz-Widerstand um etwa 43,5% von ca. 0,12 auf ca. 0,17 Ohm. Vorsichtige Menschen kommen also mit 2 parallel geschalteten 2 x 2,5-mm<sup>2</sup>-Kabeln weiter als mit einem 2 x 4-mm<sup>2</sup>-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 „Mikrofonieeffekt“, der so *klein* ist, dass er am Oszilloskop zwar *nicht direkt* aber über Differenzmessungen von Ein- und Ausgang des Kabels nachweisbar ist.

Mit der Differenzmessmethode sind auch „Verbesserungen“ unterscheidbar, die durch abisolierte und dann in Epoxydharz-Rohren eingegossene Kabel erzielt werden konnten. Auch Versuche mit tiefgekühlten Kabeln, deren Isolation durch flüssigen Stickstoff brethart 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.

### ●Laufrichtungsgebundene Kabel

Das ist ein Thema, für das es bei der Vermarktung von Lautsprecherkabeln keine Entschuldigung gibt! Dabei handelt es sich mit absoluter Sicherheit um bösartige Ausnutzung der Leichtgläubigkeit von Kunden! Eine „bevorzugte“ Laufrichtung für Wechselstrom innerhalb eines leitenden Metalls *ist physikalisch unmöglich*. Aber selbst wenn es diesen Effekt gäbe, würde das zwangsläufig zu deutlichen Verzerrungen führen! (Bei Cinchkabeln ist eine „Vorzugslaufrichtung“ vorstellbar – zwar nicht in der eigentlichen Signalqualität – aber in der Wirksamkeit der Abschirmung – je nachdem, an welchem Kabelende die Außenschirmung eines Innenleiterpaares angeschlossen ist.)

### ●»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 „verschwoommener“ – was sich allerdings statistisch die Waage hielt.

Die selben Aussagen gab es ironischerweise aber auch dann, wenn von *einem* Kabel auf das *gleiche* „umgeschaltet“ wurde!

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 mm<sup>2</sup> verwendet.

Dabei ist uns einfach egal, dass sämtliche Theorien über Wellenwiderstand, Induktivität oder Kapazität von Lautsprecherkabeln eigentlich nur für Hochfrequenzübertragung 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“.

### ●Zusammenfassung

Außer Leiterquerschnitt, -länge und (evtl.) -oberfläche konnten wir in den Hörtests *überhaupt nichts* über Klangunterschiede bestätigen. Alle anderen Effekte wie Induktivität oder Kapazität eines Kabels machen auch messtechnisch wesentlich weniger Unterschied, sollten in der Praxis also ebenfalls bedeutungslos sein. Die Materialbeschaffenheit (zum Beispiel sauerstofffreies 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 mm<sup>2</sup> dann 3,85 mm<sup>2</sup> haben! Unser bestes Messsystem hat eine Frequenzganggrundgenauigkeit von ±0,005 dB und einen Grundklirrfaktor von unter 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!

Da es aber *riesige* Klangunterschiede bei Hörräumen und Lautsprechern und *große* Unterschiede bei Unverträglichkeiten 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-mm<sup>2</sup>-Kabel mit transparenter Isolation. Gegenüber Leitungen mit sehr geringem Querschnitt (zum Beispiel Klingeldraht) wird damit das Klangbild merklich dynamischer und erscheint meist etwas präziser im Bass- und Mittenbereich.

Eine weitere Steigerung auf 2 x 4 mm<sup>2</sup> 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 Relaiskontakte in den Ausgangsstufen (meist älterer) Verstärker.

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

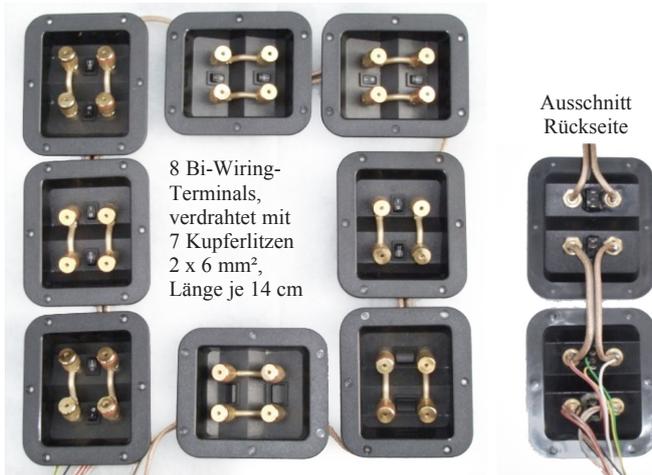
### ●Verbindungsbrücken in Bi-Wiring Anschluss terminals

Immer wieder hört man als „Geheimtipp zur Klangverbesserung“, dass man die massiven Messingbrücken von Bi-Wiring-Terminals durch Kupferlitzen ersetzen soll.

Messingbrücken haben meist einen großen Querschnitt, um den etwa 3,9-fachen spezifischen Widerstand gegenüber Kupfer zu kompensieren.

Die Brücken unserer nuVero-Linie und der größeren nuLine-Lautsprecher sind aus Messinggrundmaterial mit 5 mm Durchmesser gefertigt und haben damit einen Querschnitt von 19,6 mm<sup>2</sup>. Das entspricht recht genau einem Kupferleiter mit 5 mm<sup>2</sup> Querschnitt.

Bei Hörtests mit und ohne acht in Reihe geschalteter Terminals konnten keinerlei Klangunterschiede festgestellt werden.

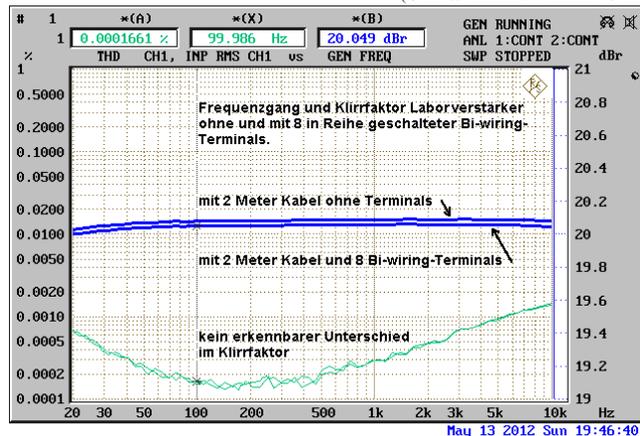


Auch messtechnisch sind Unterschiede bei fest zugeordneten Schraubbuchsen nicht feststellbar.

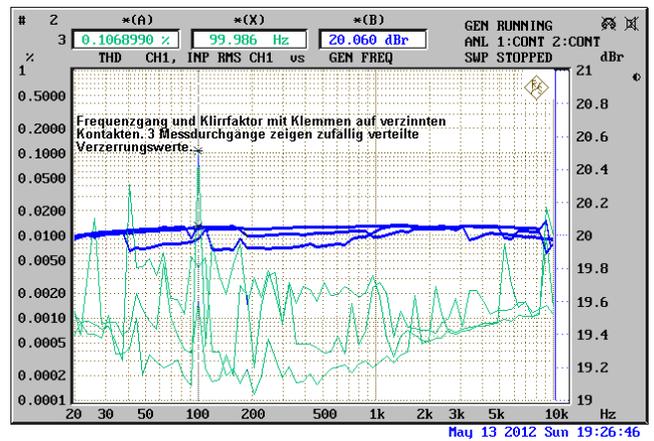
Von der ersten bis zur 16. Schraubbuchse haben wir jeweils 4,54 Milliohm gemessen, was recht genau einem Lautsprecher-Kabel mit 6 mm<sup>2</sup> und 1,5 m Länge entspricht.

Frequenzgang- und Klirrfaktorveränderungen waren nicht erkennbar, der gemessene Klirrfaktor des Laborverstärkers lag mit 2 m Kabel mit oder ohne die acht Terminals bis 5 kHz jeweils unter 0,001%.

(Gemessen mit 25 Watt an 4 Ohm)



Der Anschluss mit Krokodilklemmen auf verzinnten Drahtenden brachte je nach Kontaktpressdruck (und dem Alter der Verzinnung) wesentlich schlechtere Werte, die in mehreren Hörtests trotzdem nicht erkannt werden konnten – dafür war die Verbindung *noch zu gut!*



Deutlich hörbar können aber die Auswirkungen bei korrodierten Kabel- oder Relaiskontakten sein. Hier haben wir schon Klirrwerte von über 20% gemessen.

An dieser Stelle können wir tatsächlich einen sinnvollen „Geheimtipp“ für die Besitzer älterer Verstärker oder Receiver nennen: Viele dieser Geräte haben Ausgänge für zwei Lautsprecher-Paare, die meist getrennt voneinander schaltbar sind. Von Wackelkontakten geplagte Zuhörer können durch **das Parallelschalten der Ausgänge** „Speakers A“ und „Speakers B“ das Problem deutlich mindern oder sogar bereinigen.

•Bi-Wiring und Bi-Amping

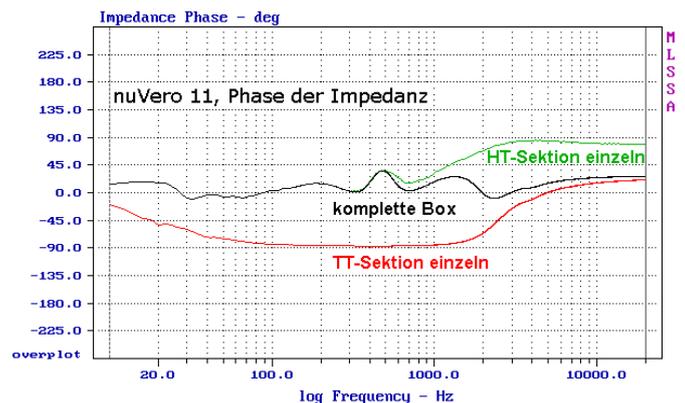
Selbst den meisten Fachleuten, mit denen ich mich über dieses Thema unterhalten habe, ist nicht klar, dass Bi-Wiring und Bi-Amping für gleich niedrige Kabelverluste grundsätzlich *den vollen* Querschnitt für *jedes* der beiden (Hoch- und Tieftönerkabel) erfordern. Das bedeutet also, dass man mit Bi-Wiring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

Unsere Hörtests haben das bestätigt: Wenn überhaupt Unterschiede erkannt wurden, hatte Bi-Wiring bei langen, nicht allzu dicken Kabeln gegenüber einer Parallelschaltung der gleichen Leitungen *eher klangliche Nachteile*.

Bi-Amping (also die Verwendung getrennter Verstärker für Hoch- und Tieftonkanal) 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 oder 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 Impedanzkorrekturglieder einfügen.

Wenn diesbezüglich dann alles in Ordnung 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 Hochtonkanal noch sauber arbeitet, wenn der Basskanal schon durch „clipping“ beeinträchtigt ist. Durch den Einsatz von aktiven Allpass-Filtern vor der Hochtönerendstufe lässt sich allerdings – in Abhängigkeit vom vertikalen Abhörwinkel – manchmal noch eine klangliche Verbesserung herausholen, was aber eher eine Art „Boxentuning“ darstellt.

### Cinchkabel

Reproduzierbare Unterschiede in der „reinen Klangqualität“ (also ohne Betrachtung von Brummabstand oder Mikrofonieeffekten) konnten wir in unseren Hörtests nur bei Kabelverbindungen zwischen Plattenspielern und Vorverstärkern bestätigen. Bei „moving magnet“ Tonabnehmern gehört *der erste Meter* des Kabels sozusagen zur Wiedergabekette und linearisiert den Frequenzgang, der ohne dieses Kabel zu den Höhen ansteigen würde.

Das Verlängern von 1 auf 2 m kann bereits – je nach dem verwendeten Tonabnehmer und Kabel – als „höhendämpfend“ hörbar werden. Typische abgeschirmte Kabel haben Kapazitäten von etwa 50 bis 100 pF/m, Mikrofonkabel im Studiobereich haben häufig Werte um 120 pF/m.

Weil es aber Magnettonabnehmer gibt, die für Lastwiderstände von 47 kOhm und Lastkapazitäten von z. B. 220 pF optimiert sind, kann ein längeres Kabel (oder die Umschaltbarkeit des Vorverstärkers) auch vorteilhaft sein.

Bei allen anderen Anwendungen im analogen HiFi-Bereich konnten wir bis zu Leitungslängen von weit über 10 m keinerlei hörbare Auswirkungen feststellen, wenn man von Brumm-, Abschirmungs- und Mikrofonieproblemen absieht.

Wir beobachten immer wieder massive Brummprobleme durch „Masseschleifen“, die dadurch verursacht werden, dass eine HiFi-Anlage an *mehr als einem Punkt* mit der Schukoerde verbunden ist (zum Beispiel über ein geerdetes Antennenkabel und zusätzlich durch den Schuko eines Gerätes der Anlage). Das lässt sich durch den Einsatz eines Mantelstromfilters in der Antennenleitung, durch Symmetrieübertrager oder die Umrüstung auf symmetrische Kabelverbindungen (zum Beispiel mit XLR-Steckern) verhindern.

### Digitalkabel

Selbst Digitalkabeln werden manchmal Klangbeeinflussungen angelastet.

Zwischen „Funktionieren“ und „nicht Funktionieren“ einer digitalen Signalleitung gibt es sehr selten einen Zwischenzustand, der durch „Verschmieren“ der Impulsflanken den Klang stark beeinflussen kann (vor allem bei längeren Optokabeln minderer Qualität). Das äußert sich aber eher durch zeitweiliges Aussetzen und kräftiges „Prasseln“ der Wiedergabe, als durch typische Klangverschlechterung. Wenn man sich in der Funktion der Kabel auf der sicheren Seite befindet, also von den Aussetzern „genügend Abstand“ hat, haben wir keine Klangunterschiede nachweisen können.

### Netzkabel/Netzfilter

Für die meisten Techniker mit Sachkenntnis im Verstärkerbau ist eine (auch noch so kleine) Auswirkung eines Netzkabels, einer Steckdosenleiste (ohne Netzfilter) oder gar einer Netzsicherung auf den Klang nur dann vorstellbar, wenn lockere Kontakte vor sich hin schmoren!

Weil wir einige (eigentlich ernsthafte) HiFi-Fans kennen, die absolut davon überzeugt sind, Unterschiede zwischen Steckdosenleisten heraushören zu können, haben wir auch in diesem Bereich versucht, Klangunterschiede in Hörtests herauszufinden.

In einem der Tests musste ein extrem teures „audiophiles“ Netzkabel gegen die Reihenschaltung eines „normalen“ Netzkabels mit 20 billigen Dreifachdosen (je 1,5 m) aus dem Baumarkt antreten. Wie nicht anders zu erwarten, gab es immer die gleichen Bewertungen, die sich statistisch die Waage hielten – egal ob von Edelkabel zum billigen „Kabelsalat“ oder testweise vom Edelkabel zum *gleichen* Edelkabel umgeschaltet wurde.



Netzstörungen, wie beispielsweise durch Dimmer verursachtes „Prasseln“, oder durch die Tonfrequenzimpulsfolge zur Umschaltung auf Nachtstrom, die über das Leitungsnetz übertragen wird, können von Netzfiltern, die in manche hochwertige Verteilerdosen eingebaut sind, wirkungsvoll unterdrückt werden.

In Abhängigkeit von *der Polung* des Netzkabels kann es bei manchen Stereo- oder Surround-Anlagen zwar kleine Unterschiede im „Brummabstand“ geben (meist bei Subwoofern), aber die sind völlig unabhängig von der „Bauform“ und von den Materialeigenschaften der Netzkabel oder -dosen.

Es gibt unglaubliche Theorien, dass „im letzten Meter“ einer Netzleitung (also dem Geräteanschlusskabel) der Strom auf seinem „Irrweg“ durch das gesamte Leitungsnetz „beruhigt“ und „besänftigt“ werden soll.

Manche Menschen schwören auch auf die klangverbessernde Wirkung von vergoldeten Sicherungskontakten in Verstärkern, CD-Playern und sogar im Sicherungskasten der Haus-Elektrik!

# Entwicklung der Nubert nuBOX®-Lautsprecherreihe

Die nuBox-Serie besteht zurzeit aus:

- den **Regalboxen nuBox 383, 313 und 303**
- den **Standlautsprechern nuBox 683, 513 und 483**
- dem **Centerspeaker nuBox CS-413**  
(Beschreibung im Kapitel „Surround-Lautsprecher“, Seite 36)
- dem **Wandlautsprecher nuBox WS-103**
- dem **Rearspeaker nuBox 303**
- den **Subwoofern nuBox AW-993 und AW-443**

## ZIEL

Das Ziel bei der Entwicklung dieser Boxenfamilie war es, Lautsprecher zu verwirklichen, die in ihrer jeweiligen Preisklasse Maßstäbe im Preis-Leistungs-Verhältnis setzen. Es sollte in allen Größenklassen ein sehr präzises, durchsichtiges Klangbild bei gleichzeitig kräftigem Bassfundament erreicht werden.

Besondere Entwicklungsziele waren die Freiheit von „nasalen Verfärbungen“ und eine möglichst hohe Genauigkeit bei der Impulsverarbeitung. Obwohl technische und klangliche Tugenden bei der nuBox-Entwicklung im Vordergrund standen, konnte auch eine zeitlose, gefällige Optik realisiert werden.

Mit Ausnahme der nuBoxen 303, 313 und WS-103, die (bei Betrieb ohne Subwoofer) für kleinere und mittlere Räume gedacht sind, sollten Wirkungsgrad und Belastbarkeit so hoch sein, dass sich auch der Einsatz in größeren Wohnräumen anbietet. Es sollten Passivboxen entstehen, deren Weichen so exakt abgestimmt und gedämpft sind, dass sie durch Aktiv-Verstärkertechnik klanglich nicht mehr übertroffen werden können und für „aktives equalizing“ nur noch im Tiefbass Ansatzpunkte für weitere Verbesserungen offen bleiben.

Durch die Absicherung sämtlicher Lautsprecherchassis und Weichen mit selbststrückstellenden Sicherungen sollte eine hohe Zuverlässigkeit und der Schutz vor Überlastungen gewährleistet sein.

## GRUNDLAGEN

Wir entwickeln seit rund 40 Jahren hochwertige Lautsprecher. Unser HiFi-Boxenprogramm bestand Mitte der Siebzigerjahre aus drei Grundmodellen – neben Studiomonitoren, Studioelektronik und Hochleistungsverstärkern. Daraus wurden fünf Größenklassen entwickelt, die im Konkurrenzfeld durch viele Evolutionsschritte technisch immer auf sehr hohem Niveau gehalten werden konnten. Unsere nuBox 683 baut beispielsweise auf neun Generationen in der Größe vergleichbarer Boxen auf, jede Generation hatte mehrere Updates.

Um ein noch besseres Preis-Leistungs-Verhältnis erzielen zu können, wird unsere nuBox-Linie industriell gefertigt. Dabei werden im Vergleich zur handwerklichen Fertigung gleich hohe Anforderungen an die Toleranzen relativ zum Labormuster und an die saubere Verarbeitung gestellt. Jede ausgelieferte Box durchläuft eine Endmessung mit einem MLSSA-Messplatz und wird zusätzlich noch mit einem gleitenden Sinussignal geprüft.

## KONSTRUKTIONSBASIS

Die ausführlichen Konstruktionsdetails haben wir aus Rücksicht auf die technisch weniger interessierten Musikliebhaber in das Kapitel ab Seite 40 ausgelagert.

## Tiefmitteltöner der nuBox-Serie

Bei den Tiefmitteltönern kommen drei verschiedene Grundmodelle zum Einsatz.

• **nuBox 683, 483, 383:** Die Tiefmittelton-Systeme dieser Modelle bauen auf einem 21-cm-Chassis auf, mit dem wir seit vielen Jahren Erfahrung haben und das in unzähligen Schritten weiterentwickelt wurde.

Durch Verbesserungen der Membrantechnologie, zusätzliche Linearisierungselemente im Magnetsystem und die aufwendigen Weichenkonstruktionen erzielt die neueste Generation dieser Chassis im Ein- und Ausschwingverhalten und in der Verzerrungsarmut hervorragende Werte.

• **nuBox 513 und 313:** Diese Tieftöner basieren auf magnetisch kompensierten 14,5-cm-Basssystemen, die auf Präzision und Belastbarkeit optimiert sind.

Sie verhelfen der nuBox 513 trotz der schlanken Silhouette zu einem kraftvollen und voluminösen Klangbild.

Bei der nuBox 313 wurde der Wirkungsgrad gegenüber der 383 von 87 auf 85 dB reduziert, um ein volleres Klangbild erzielen zu können.

Weil die Tiefbasswiedergabe bei kleineren Lautsprechern nicht beliebig gesteigert werden kann, hängt deren Klangfülle auch vom Wirkungsgrad der Box ab.

• **nuBox 303:** Die Technologie dieses kleinen Tieftöners basiert auf einer langen Entwicklungsreihe von Rearspeaker-Modellen, die bei uns seit vielen Jahren im Einsatz sind und ständig weiterentwickelt werden. Obwohl man bei kleinen Passivlautsprechern in der Bassfülle natürlich nicht zaubern kann, ist uns in diesem Punkt eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Vorgängermodell gelungen. Damit ist die nuBox 303 noch besser als kleiner Satellit für Sub/Sat-Systeme geeignet. Sie stellt aber auch eine weit überdurchschnittliche Lösung für kleine Räume und als Computer-Monitor dar.

## Hochtöner

In der nuBox-Serie kommen drei Varianten unserer 25-mm-Kalottenhochtöner zum Einsatz, die exklusiv für uns gefertigt werden (mit Unterschieden in Belastbarkeit, Wirkungsgrad, Bedämpfung und Resonanzfrequenz). Sie werden ebenfalls seit vielen Jahren ständig weiterentwickelt.

Ihre ausgezeichneten Eigenschaften sind das Ergebnis von ununterbrochener Feinarbeit auf allen relevanten Gebieten: Impulsgenauigkeit, Verzerrungsverhalten, Frequenzgang und Belastbarkeit.

In der nuBox 303 und dem WS-103 verwenden wir besonders breit strahlende 19-mm-Kalotten.

Bei großen Lautstärken können Hochtönlautsprecher üblicherweise innerhalb weniger Minuten zerstört werden, wenn die Musik durch aufgedrehte Höhenregler sehr hell klingt oder stark verzerrt („Silvesterparty-Syndrom“)! Deshalb sind alle Nubert-Boxen mit Schutzschaltungen versehen, die den Hochtöner bei drohender Überlastung abschalten und sich danach selbständig wieder in den Normalbetrieb zurücksetzen.

## Frequenzweichen

Obwohl bei einer Lautsprecherbox erst die Gesamtkonzeption über deren Klangqualität entscheidet, kann man ohne Übertreibung sagen, dass die Frequenzweiche das eigentliche „Herz“ des Lautsprechers darstellt. Die Bewegung der Lautsprechermembranen soll möglichst präzise dem Signal folgen, das der Verstärker liefert. Das ist aber gar nicht so einfach zu bewerkstelligen, da ein Lautsprecherchassis neben seiner eigentlichen Funktion noch eine Reihe unangenehmer Eigenheiten und Resonanzen aufweist.

Ein 4-Ohm-Lautsprecherchassis hat fast nirgendwo *tatsächlich* 4 Ohm! Es variiert im eingebauten Zustand meist zwischen 4 und etwa 25 Ohm und soll bei keiner Frequenz weniger als 3,2 Ohm haben.

Der Verstärker kann auch in einer Aktivbox (also ohne Weiche) die 4 Ohm der Schwingspule nur sehr entfernt „sehen“, wenn er zum Lautsprecher „blickt“. Stattdessen sieht er mindestens 12 (parasitäre) Spulen, Kondensatoren und Widerstände. Die werden vor allem durch die drei mechanischen „Schwingkreise“ aus Membranaufhängung, eingeschlossenem Luftvolumen und Sicke (äußerer Membranrand) gebildet. Durch dieses Gestrüpp hindurch sieht er ganz *hinten irgendwo* die Schwingspule, die er eigentlich antreiben soll.

Als anschauliches Beispiel kann man den Vergleich zu einem Lastwagen (also *Verstärker*) anstellen, der auch beim Beschleunigen und Bremsen möglichst sauber und ruckfrei einen großen Anhänger (also *Lautsprecher*) ziehen soll.

Das Problem dabei ist, dass Lastwagen und Anhänger mit einer vielleicht 20 Meter langen, sehr elastischen Deichsel verbunden sind, die eine saubere Führung extrem erschwert. An *die Deichsel selbst*, die aus 12 *kreuz und quer* verbundenen Federn, Gummibändern, Gewichten und Stoßdämpfern besteht, kommt man schaltungstechnisch nicht heran. Durch überlegte (wegen der Komplexität des Sachverhalts manchmal auch ausgetüftelte) Anordnungen von Bauelementen parallel und in Reihe dieser Kupplung, kann man die wichtigsten störenden Bauteile jedoch *kompensieren* und damit deren Neigung zu unkontrollierten Eigenschwingungen deutlich verringern! Aus guten Lautsprecherchassis sind damit *wesentlich bessere*, und aus Spitzenchassis *überragende* Ergebnisse herauszuholen.

*Es kommt aber natürlich auch auf die Qualität der Bauteile an!*

Solange eine Box neu ist, kann man klanglich und messtechnisch kaum einen Unterschied zwischen den hochwertigen, etwa viermal so teuren Kunststofffolienkondensatoren und den billigeren Elektrolytkondensatoren feststellen.

Aus Preisgründen werden von *fast allen* Herstellern diese billigeren Bauteile auch an den kritischen Stellen einer Weiche verwendet!

*Bei den nuBoxen werden hingegen fast ausschließlich die langzeitkonstanten und teuren Kondensatoren eingesetzt.* Sie verhindern, dass sich ein Lautsprecher schon nach drei oder vier Jahren deutlich vom Neuzustand unterscheiden kann. Außerdem sind sämtliche Bauteile aller Weichen für die doppelte Nennbelastbarkeit des Lautsprechers ausgelegt, so dass unter anderem das gefürchtete „Spulenkernklirren“ nicht auftreten kann (oft weit über 10% Klirrfaktor bei jenen Musikimpulsen, die merklich über der angegebenen Nennbelastbarkeit liegen!).

Mit den speziell auf die Chassis und die Gehäusegeometrie abgestimmten, extrem aufwendigen Weichen unserer nuBox-Serie erreichen wir für jedes Modell eine Präzision und Harmonie im Klangbild, die auch in der jeweils doppelten Preisklasse längst nicht selbstverständlich ist. Gute Kompaktboxen zum Preis unserer nuBox 383 sind üblicherweise mit vier bis sechs (eher sparsam dimensionierten) Bauelementen in der Frequenzweiche ausgestattet. Selbst Lautsprecher der 500-Euro-Klasse haben selten über zwölf Elemente. Die nuBox 383 hat 17 hochwertige, die nuBox 683 sogar 34 engtoleriertere, langzeitkonstant ausgelegte Bauteile auf ihren drei Leiterplatten!

## Gehäuse

Je größer die Außenwände einer Box sind, desto schwieriger wird es, deren klangverfälschende Eigenschwingungen zu verhindern. Mit zunehmender Größe steigen in der nuBox-Reihe deshalb Konstruktions- und Herstellungsaufwand für Versteifungs- und Dämpfungsmaßnahmen stark an. Als Grundlagenarbeit für die Optimierung der größeren nuBoxen mussten jeweils hunderte von Messpunkten der Gehäuseoberfläche schwingungstechnisch analysiert und in den Computer eingegeben werden. Trotz der (sehr rechenintensiven) Anwendung von Modalanalyse auf unserer schnellsten Workstation zur Optimierung des Gehäuseaufbaus und des Materialeinsatzes, wurde das Gewicht der größeren nuBoxen deutlich in die Höhe getrieben.

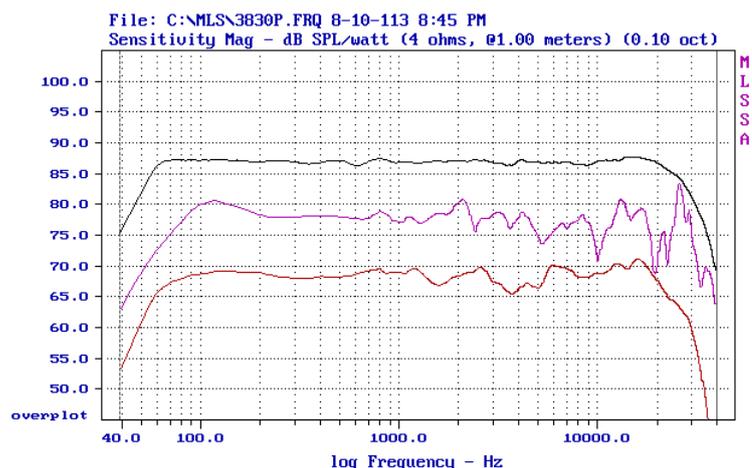
## Frequenzgangvergleich dreier Lautsprechermodelle.

Beispiele von Messergebnissen, die auf unterschiedlich neutrale Musikwiedergabe hindeuten.

**Oben:** nuBox 383 (um 440 Euro pro Paar); gemessen mit 1 Watt/1 m.

**Mitte:** gut beurteilte, gut verarbeitete, unserer Meinung aber klanglich nicht ganz überzeugende Kompaktbox mit bekanntem englischen Markennamen (um 400 Euro pro Paar). Pegel um 6 dB abgesenkt, identisch aufgestellt.

**Unten:** hochwertiger, relativ gut klingender Kompaktlautsprecher eines bekannten europäischen Herstellers (um 1200 Euro pro Paar). Pegel um 12 dB abgesenkt, identisch aufgestellt.



# Entwicklung der Nubert nuLine®-Lautsprecherreihe

Die nuLine-Serie besteht zurzeit aus:

- den **Regalboxen nuLine 34 und 24**
- den **Standboxen nuLine 284, 264 und 84**
- den **Centerspeakern nuLine CS-174 und CS-44**
- dem **Wand-, Decken- und Centerspeaker nuLine WS-14**
- dem **Rearspeaker nuLine 24**
- den **Aktiv-Subwoofern AW-1100 und AW-600**

## ZIEL

Die nuLine-Familie wurde mit recht ehrgeizigen Zielen entwickelt:

- Ein so hohes Maß an Natürlichkeit und Präzision, wie man es sonst nur in wesentlich teureren Produkten der jeweiligen Größenklassen findet.
- Ansprechendes, zeitloses Design bei sehr guter Verarbeitungsqualität.
- Kompakte Abmessungen und hohe Belastbarkeit.
- In Verbindung mit unseren Subwoofern sollte auch die kompakte nuLine 34 für große Räume geeignet sein.
- Sehr hohe Betriebssicherheit. Durch selbststrückstellende Sicherungen sind alle Lautsprecher und Weichen sämtlicher Modelle gegen Überlastungen abgesichert.

## GRUNDLAGEN

Schon vor mehr als 25 Jahren haben wir neben den Basismodellen der nuBox-Linie kompromisslos aufwendige Nahfeldmonitore entwickelt, die damals auf der gleichen Technik basierten, aber extrem versteifte Gehäuse und abgerundete Schallwandkanten hatten. Sie waren mit ungeheuer umfangreichen – alle *noch so kleine* Details berücksichtigenden – Frequenzweichen versehen. Es stellte eine reizvolle Aufgabe dar, aus diesen eher schmucklosen „Zweckkisten“ eine schöne, sehr hochwertige Boxenfamilie für Heimanwendung und Profis zu schaffen.

## KONSTRUKTION

Mithilfe der asymmetrischen Hochtöner konnten wir die Beeinflussung des Frequenzganges durch Kantenbrechungen an der Schallwand merklich reduzieren und den Großteil der restlichen Auswirkungen mit aufwendigen Linearisierungskreisen innerhalb der Frequenzweichen weitgehend kompensieren. Durch diese Maßnahmen gehören die nuLine-Boxen zu den neutralsten und linearsten Lautsprechern auf dem Markt!

Bei den Regal- und Standboxen dieser Serie ist der Innenaufbau der Gehäuse im Vergleich zur nuBox-Familie nochmals aufwendiger konstruiert und gefertigt, was sehr neutrale Basswiedergabe ohne störende Gehäuseresonanzen ermöglicht.

### Tieftöner

Bei den 2012/13 vorgestellten nuLine-Modellen kommt eine neue Generation von Tieftönern zum Einsatz, die aus den Erfahrungen der nuVero-Entwicklung resultiert.

Bei den Standlautsprechern wurde ein Subwoofer-verdächtiger Tiefgang bei herausragender Basspräzision erreicht – ein Vorzug, der auch von unseren Kunden und den zahlreichen Tests in den Fachmedien ausdrücklich hervorgehoben wurde.

Aber auch die kompakte nuLine 34 und ganz besonders die kleine nuLine 24 klingen gegenüber den Vorläufermodellen eine Größenklasse massiver.

### Tiefmitteltöner

Weil die Basismodelle der nuLine-Serie in der Gehäuse-Form auch schlanker als die nuBox-Modelle werden sollten, konnten wir nicht auf deren impulsoptimierten 22-cm-Tieftöner zurückgreifen. Wir mussten ein kleineres Chassis weiterentwickeln, um daraus die Modelle zu schaffen, die unsere Anforderungen erfüllen. Üblicherweise ist es bei kleineren Lautsprechermembranen einfacher, Partial-Schwingungen zu vermeiden. Trotzdem brachten jahrelange Versuche, mit einem in gleicher Technologie aufgebauten 18-cm-System die praktisch perfekte Impulsverarbeitung unseres besten 22-cm-Chassis zu erreichen, nicht den entscheidenden Durchbruch.

Neben dem Verkleinerungsprozess des 22ers gab es aber Parallelentwicklungen an 18-cm-Lautsprechern mit einer Membran, bei denen mit unterschiedlicher „Shore-Härte“ in verschiedenen Membranbereichen experimentiert wurde.

Es mussten fast dieselben langwierigen Versuche noch einmal von Grund auf unternommen werden, um die Entwicklung eines 18er-Chassis zu ermöglichen, das praktisch die gleiche Präzision des besten 22ers aufweist. Der Frequenzbereich über den die perfekte Impulsverarbeitung funktioniert, konnte ständig erweitert werden und hat inzwischen mit dem Tiefmitteltöner der nuLine 34 ein noch höheres Niveau erreicht.

Die Grundpräzision bei der Übertragung von „Burst-Signalen“ (also Sinuswellen-Paketen) ist entscheidend besser, als es mit dem Stand der Technik zurzeit üblich ist.

Einige Entwicklungsarbeiten an der Weiche wurden durch den hervorragend linearen Frequenzgang, den das neue Chassis unter anderem wegen seiner Membrantechnologie auch schon ohne Weiche aufweist, erleichtert. Andererseits waren zwei Probleme stärker ausgeprägt, als es bei unseren früheren Lautsprechersystemen beobachtet werden konnte:

1. Das Ersatzschaltbild eines Lautsprecherchassis im Gehäuse besteht näherungsweise aus 12 *durchschaubaren* Bauelementen (sieben davon frequenzabhängig und fünf -unabhängig). Wenn man noch tiefer ins Detail geht, existiert außerdem noch eine Reihe *schwer definierbarer* Elemente. Bei den neuen Tieftönern musste praktisch jedes der sieben frequenzabhängigen Elemente, die (inklusive der Sickenresonanzproblematik) im Ersatzschaltbild des Chassis zu finden sind, *elektrisch* (mit Hilfe der Weiche) und *mechanisch* (mit Hilfe von Gehäusegeometrie und -dämpfung) kompensiert werden. Sonst ist eine saubere Sprungantwort ohne „ringing“ (Ausklängen mit einer bevorzugten Frequenz) nicht zu erzielen.
2. Es hat die Arbeiten auch nicht gerade erleichtert, dass die Durchlässigkeit der leichten Membran gegenüber dem im Gehäuse befindlichen Schall höher als bei den bisherigen Modellen ist. Die Tatsache, dass *durch die Membran hindurch* eher hörbar ist, was auf der *Innenseite* der Box vorgeht, hat zu einem sehr hohen Versteifungs- und Dämpfungsaufwand bei den Gehäusen geführt!

### Hochtöner

Der neu entwickelte ovale Hochtöner ist mit einer speziell bedämpften, rückseitigen Volumenkammer ausgerüstet, die wirksam Resonanzen unterdrückt und für sehr schnelle Ausklingvorgänge sorgt. Gegenüber den bisherigen asymmetrischen Nubert Hochtönern wurde die Asymmetrie nochmals vergrößert, wodurch die Dispersionen an den Gehäusekanten weiter verringert werden und die Klarheit im Hochtonbereich merklich zunimmt.

Für den WS-14 und die nuLine 24 kommen 19-mm-Hochtöner mit besonders breitem Abstrahlwinkel zum Einsatz.

### Frequenzweichen

Bei den nuLine 284, 264 und 174 kommt die innovative Drei-Wege-Technik zum Einsatz, die im Kapitel nuVero ausführlich beschrieben wird.

Für die anderen nuLine-Modelle wurden Frequenzweichen entwickelt, die im Übergangsbereich zwischen Hoch- und Tieftonkanal jeweils zwei verschiedene Flankensteilheiten aufweisen. Damit können jene Phasendrehungen reduziert werden, die sich im Zusammenspiel mit den Chassis bei Verwendung üblicher Filter mit nur einer Flankensteilheit ergeben. Dafür – und für die insgesamt sechs Entzerrungskreise zur Optimierung der Eigenschaften der Lautsprechersysteme – ist ein enormer Aufwand nötig.

Es ist erstaunlich, dass sich vor allem in der Welt der High-End-Fans standhaft das Vorurteil hält, dass man mit weniger Bauteilen in einer Frequenzweiche bessere Ergebnisse in der Impulsverarbeitung erzielen kann! Einfache Weichen erzeugen in Verbindung mit Lautsprechersystemen *genau die* Phasendrehungen, die man eigentlich vorgibt, vermeiden zu wollen! Bei praktisch allen Lautsprechern, die mit den einfachen 6-dB-Weichen arbeiten, wird der Hochtöner verpolt angeschlossen. Schon allein dadurch wird die Argumentation „geringe Signalverzögerung“ hinfällig. Die Hauptprobleme solcher Weichen sind aber, dass damit die Abstrahleigenschaften der Box und die Klirrwerte beim Hochtonlautsprecher ungünstiger werden.

Bei der nuLine 34 kommen ausschließlich die *hochwertigen Kunststofffolienkondensatoren* zum Einsatz, die ein Mehrfaches gegenüber den üblicherweise verwendeten Elektrolytkondensatoren kosten, dafür aber bessere elektrische Eigenschaften und perfekte Langzeitstabilität haben. Lediglich in der Tiefbasslinearisierung der Standboxen werden engtolerante Elkos verwendet, die durch das unkritische Einsatzgebiet (zusammen mit einem Dämpfungswiderstand) keine Alterungsprobleme haben. Der Ersatz durch Kunststofffolienkondensatoren mit derartig hohem Kapazitätswert hätte einen Mehrpreis von weit über 50 Euro pro Box zur Folge, was für den *reinen Idealismus* wohl etwas unangemessen wäre.

Die speziellen Kernspulen kommen auch bei sehr hohen Verstärkerleistungen nicht in Sättigung und verbinden das mit geringsten Verlusten und extrem geringen Verzerrungen (weniger als 0,05% Klirrfaktor bei 200 Watt und weniger als 0,1% bei 250 Watt bei allen Frequenzen bis über 2,7 kHz). *Luftspulen* – also Kupferdrahtspulen ohne Kern – mit ähnlich geringem Innenwiderstand wären kaum wirtschaftlich realisierbar, hätten ein wesentlich höheres Gewicht und brächten keine hörbaren Vorteile.

## MODELLE

### nuLine 34

Durch den gegenüber der nuBox 383 um 2 dB zurückgenommenen Wirkungsgrad auf 85 dB (bei 1 Watt in 1 m Abstand) klingt sie – bei Hörvergleichen mit Pegelanpassung – im Direktvergleich deutlich größer. Sie hat außerdem eine unglaublich gleichmäßige Diffussschallverteilung, was auch der Anwendung als Rearspeaker in sehr hochwertigen Surround-Systemen entgegenkommt (wenn man ein etwas präziseres Klangbild gegenüber dem „weiträumigen“ Klang von Dipol-Lautsprechern vorzieht).

Mit dem dreistufigen Schalter kann der Hochtonbereich von „sanft“ über „linear“ auf „brillant“ eingestellt werden.

Für sehr große Lautstärken bietet sich die Verwendung als äußerst hochwertiger Satellit zusammen mit externen Basslautsprechern (Subwoofern) an.

Wenn man von der nuLine 34 den Bereich unter etwa 80 Hertz abkoppelt, zum Beispiel durch Anschluss des Verstärkers an den *line out* unserer Subwoofer, steigt ihre Nennbelastbarkeit deutlich an. Sie ist dann trotz ihres eher durchschnittlichen Wirkungsgrades (85 dB in 1 m Entfernung) auch für sehr große Räume geeignet! Das präziseste Klangbild ergibt sich bei Aufstellung auf einem etwa 70 cm hohem Stativ und ungefähr 40 cm Abstand von der Vorderwand des Raumes. Ein Sockel (bündig mit Schallwand) bringt bei etwas vollerem Klang fast die gleiche Neutralität.

### nuLine 84

Dieser Lautsprecher besteht aus einer sehr hochwertigen Zwei-Wege-Box (ähnlich nuLine 34) mit integriertem Subwoofer. Gegenüber der nuLine 34 sind der Weichenaufwand und die Versteifungsmaßnahmen des Gehäuses noch umfangreicher.

Als Standlautsprecher steht der 84er praktisch immer auf dem Boden. Damit ist der vertikale Winkelbereich, bei dem der beste Klang erreicht werden soll, für die Praxis schon definiert. Mit den justierbaren Schraubfüßen kann eine geringe Neigung der Box so eingestellt werden, dass sich bei Abständen ab etwa 2 m ein Winkel von knapp 5 Grad über der Hochtönerachse ergibt.

Extrem linear ist die nuLine 84, wenn ihre beiden Schalter im Anschlussfeld in der „Normal“-Position sind. Dann ist der

Tiefbass akustisch und elektrisch im Ein- und Ausschwingen und im Impedanzverlauf optimiert. Der Tiefgang der nuLine 84 entspricht dem einer wesentlich größeren Box. Die Aufstellung in Wandnähe kann zu einer Überbetonung der Bässe führen, was mit dem Bassschalter in Stellung *reduziert* kompensiert werden kann. Mit dem zweiten Schalter kann der Hochtonbereich individuellen Vorlieben bzw. der Raumakustik angepasst werden. Diese Lautsprecher klingen äußerst eindrucksvoll – wenn genügend Verstärkerleistung zur Verfügung steht, können sie vielen größeren und teureren Boxen Paroli bieten.

#### **nuLine 264 und 284**

Bei diesen Lautsprechern haben wir die Technologie der Tieftöner und die Filteroptimierung auf Basis des Drei-Wege-Prinzips von unserer Spitzenserie nuVero übernommen.

Das Verhältnis zwischen ihrer Tiefbasswiedergabe und der geringen Gehäusebreite und damit geringem Nettovolumen ist spektakulär. Nicht allein die Eckfrequenzen von 35 und 33 Hz (-3 dB) beeindrucken, sondern auch die enorme Präzision der Bässe, die unter anderem durch die umfangreichen Versteifungs- und Dämpfungsmaßnahmen der Gehäuse erreicht wurde.

Die Basswiedergabe ist so massiv, dass in manchen Wohnräumen die Raumresonanzen deutlich stärker angeregt werden, als es bei weniger tief reichenden Lautsprechern der Fall ist. Deswegen haben wir uns entschlossen, die Funktionen des rückwärtigen Tiefenschalters so zu dimensionieren, dass damit der Basspegel moderat abgesenkt werden kann.

Seit vielen Jahren bauen wir immer wieder Lautsprecherchassis mit flachen Membranen auf. Bisher war es immer so, dass flache Membranen für störende Partialschwingungen anfälliger waren als ähnlich große Konusmembranen.

Durch Feinarbeit an Mehrschichtmembranen, die über eine Bienenwabenstruktur verfügen (Honeycomb-Technologie), konnten die störenden Eigenresonanzen Schritt für Schritt in so hohe Frequenzbereiche verlagert werden, dass sie sich nicht mehr im Übertragungsbereich befinden.

Nun wird bei uns erstmals ein Flachmembranchassis in der Serie eingesetzt. Dieses Chassis ist nun im Mitteltonbereich gleich gut wie die besten Konuslautsprecher. Der eigentliche Vorteil liegt in den Abstrahlungsbedingungen für den Hochtöner: Weil das neue Mitteltonchassis mit der Schallwand praktisch bündig ist, schafft es eine vorteilhafte Umgebung für den benachbarten Hochtöner.

#### **Centerspeaker nuLine CS-174 und CS-44**

Der Center CS-174 ist ein technologisches Meisterstück und auch als hochwertiger Hauptlautsprecher verwendbar. Er bildet zusammen mit den nuLine 284 oder 264 eine sehr homogene Einheit, weil sein Klangcharakter fast identisch ist (ausführlichere Beschreibung im Kapitel „Surround-Lautsprecher“).

Der nuLine CS-44 ist die Weiterentwicklung des bisherigen CS-42, hat aber eine deutlich niedrigere Grenzfrequenz und wesentlich größeren Membranhub. Er fügt sich besonders harmonisch in Surround-Systeme mit den Zwei-Wege-Lautsprechern der nuLine-Serie ein und verbindet hohen Wirkungsgrad mit der extremen Belastbarkeit von 300 Watt.

#### **Wand-, Decken- und Centerspeaker nuLine WS-14**

Der WS-14 ist ein schlanker, flacher Lautsprecher, der in erster Linie für die direkte Wandmontage entwickelt wurde. Eine wandnahe Platzierung verändert den Klang eines Lautsprechers beträchtlich, was entsprechende Modifikationen der Konstruktion bei Wandlautsprechern erfordert. Dennoch kann man den WS-14 auch bestens frei aufgestellt betreiben! Eine aufwendige Frequenzweiche ermöglicht für beide Aufstellungen optimierte Abstimmungen, die mit einem Schalter gewählt werden können. Mit seinem nur 10 cm tiefen Gehäuse ist der WS-14 ein idealer Front- und Centerspeaker neben bzw. unter einem Flachbildschirm.

Durch seine kompakte Bauweise kann dieser Lautsprecher aber ebenso als Rearspeaker in einem ambitionierten Surroundsystem eingesetzt werden und dadurch manches Aufstellungsproblem lösen. Die untere Grenzfrequenz des WS-14 (unter 100 Hz bei -6 dB) harmonisiert optimal mit einem Subwoofer wie dem kompakten nuLine AW-600. Diese Kombination kommt klanglich einer großen Standbox sehr nahe. Hinsichtlich der „Massivität“ des Klangbildes kann sie eine Standbox sogar noch übertreffen.

#### **Dipol-Rearspeaker nuLine 24**

Der nuLine 24 ist der weiter verbesserte Rear-Speaker auf Basis unserer bisher besten Lautsprecher dieser Größenklasse. Bei der Basswiedergabe konnten enorme Fortschritte erzielt werden, die nicht nur dem Einsatz als Rearspeaker zugute kommt, sondern diese Minibox zu einem wirklichen HiFi-Lautsprecher macht.

#### **Aktive Subwoofer AW-1100 und AW-600**

Auf diese Subwoofer mit ihren außergewöhnlichen Langhubtieftönern wird im Kapitel „Surround-Lautsprecher und Subwoofer“ *Seite 38 ff* sowie bei den „Subwoofer-Messvergleichen“ auf *Seite 50* eingegangen.

# Entwicklung der Nubert nuVero-Lautsprecherreihe

Die nuVero-Serie besteht zurzeit aus:

- den **Kompaktboxen nuVero 60, 50 und 30**
- den **Standboxen nuVero 140 und 110**
- den **Center- und Hauptlautsprechern nuVero 70 und 50**
- den **Rearspeakern nuVero 50 und 30**
- dem **Aktiv-Subwoofer nuVero AW-17**

## ZIEL

Schon bei der ersten nuVero-Serie, die 2008 vorgestellt wurde, hatten wir den Ehrgeiz, eine Lautsprecherreihe mit der höchsten erreichbaren Klangperfektion zu entwickeln.

Seit 2011 haben wir all unser Wissen in die Entwicklung weiterer Verbesserungen bei allen Tief-, Mittel- und Hochtönern eingebracht. Es hat mehrere Jahre gedauert, bis wir eindeutige Steigerungen der schon vorher enorm hohen Übertragungsqualität erreichen konnten.

Der Standlautsprecher nuVero 140 ist das Flaggschiff dieser neuen Serie, sein Konstruktionsaufwand markiert die Grenzen des – für Lautsprecher dieser Größe – zurzeit sinnvoll Möglichen.

Das neue Gesamtkonzept basiert auf der bisherigen nuVero-Serie und umfasst alle klangrelevanten Bereiche, also Chassis, Weiche und Gehäuse.

## NUVERO 60 UND 30

### Abstimmung, Schalter und Kombination mit Subwoofern

Mit der nuVero 60 und 30 wollten wir die neutralsten Lautsprecher dieser Größenklassen bauen, die – unabhängig vom Preis – zurzeit in Passivtechnik realisierbar sind.

Die nuVero 60 hat die Bassfähigkeit und -präzision einer sehr guten Standbox von etwa doppeltem Volumen. In der Präzision der Wiedergabe liegt sie in der Nähe einer nuVero 110 und kann sich dadurch mit praktisch jedem uns bekannten Standlautsprecher bis etwa ein Meter Höhe messen. Mit ihrer unteren Grenzfrequenz von 36 Hz (-3 dB) könnte der Bass bei wandnaher Aufstellung vielleicht sogar „eher zu kräftig“ wirken, was dann mit dem Bass-Schalter ausgeglichen werden kann.

Die nuVero 30 ist der kleinste „voll basstaugliche“ Edellausprecher, den wir kennen. Mit kräftigen Verstärkern sind damit die Basstiefe, Präzision und Maximalpegel erreichbar, die man bisher von den besten Boxen der doppelten Volumenklasse erwarten konnte. Durch den zuschaltbaren rückwärtigen Hochtöner wird die nuVero 30 zum Dipollautsprecher, der sowohl als „luftig“ klingender HiFi- als auch als hervorragender Surround-Rearspeaker einsetzbar ist. In diesem Zwei-Wege-Lautsprecher wurde mit enormem Entwicklungs- und Materialaufwand die Summe unserer Erfahrungen verwirklicht.

### Hochtöner

Der Hightech-Hochtöner ist identisch mit den Hochtönlautsprechern unserer größeren nuVero-Modelle. Er besitzt ein weiter verbessertes Rundstrahlverhalten, wie man es eigentlich nur von 19er-Kalotten her kennt. Belastbarkeit und Wirkungsgrad sind dabei jedoch deutlich höher. Damit erreichen die nuVero-Kompaktlautsprecher nicht nur eine fabelhafte Durchzeichnung feinsten Hochtönpassagen, sie garantieren auch außerhalb der Mittenachse sitzenden Hörern einen ungetrübten Musikgenuss.

Der große Frequenzumfang des Hochtöners erlaubt eine relativ tiefe Ankopplung bei 2000 Hz und erspart damit dem Tiefmitteltöner diejenigen Tonlagen, die er prinzipbedingt gebündelt, also auf Kosten des Abstrahlverhaltens, wiedergeben würde.

### Tieftöner nuVero 60

Für den Einsatz in der nuVero 60 wurde ein eindrucksvoller Tieftöner entwickelt. In langen Versuchsreihen konnten wir die Grenzen der Leistungsfähigkeit in kompakten Gehäusen immer weiter vorantreiben. So kam auch das bemerkenswerte Magnetsystem zum Einsatz, dessen Gewicht gegenüber dem früheren Modell nuVero 4 mehr als das 2,3-fache beträgt.

Die Glasfasermembran des 180-mm-Tieftöners vereint Steifigkeit mit Resonanzfreiheit. Die „dicke“ Gummisicke erinnert an einen Subwoofer und erlaubt eine hohe Auslenkung von mehr als 30 Millimetern.

Der auf der Innenseite neu ausgelegte Aluminiumgusskorb verbessert das Verhalten der Membrane bei großen Auslenkungen und die tiefgezogene Polplatte stellt gleichzeitig sicher, dass der Schwingspulenträger auch bei extremen Auslenkungen nicht Anschlagen kann („Bottoming“).



Tieftöner nuVero 60 (links) und nuVero 4 (rechts) im Größenvergleich

### Tiefmitteltöner nuVero 30

Die Messwerte und die Wiedergabequalität des Tiefmitteltönbereichs setzen für Lautsprecher dieser Größe wohl ebenso Maßstäbe. Die Verbundmembrane des 15-cm-Chassis kombiniert außergewöhnliche Steifigkeit mit hoher innerer Dämpfung. Hervorragender Frequenzgang, niedrige Verzerrungen und für die Gehäusegröße erstaunliche Basstiefe sorgen für sehr präzise Musikwiedergabe.

### Bass satt und individuelle Klangwahl

Mit dem Bassschalter der nuVero 60 kann der Pegel der tiefsten Frequenzen reduziert werden. Das ist vor allem bei wandnaher Aufstellung von Vorteil, wenn die Box „zu bassig“ erscheinen sollte. Der Mitten-Schalter ermöglicht eine „prägnantere“ Mitten-Wiedergabe.

Bei beiden Lautsprechern wählt man mit dem Hochtöner-Schalter die Einstellungen „brillant“, „neutral“ und „sanft“.

Der Bassschalter der nuVero 30 aktiviert eine Filterstufe, die perfekt mit den Einsatzfrequenzen unserer Subwoofer harmoniert.

Die nuVero 30 hat einen Schalter zur Aktivierung des hinteren Hochtöners, also für die Umschaltbarkeit *Direktstrahler/Dipol*.

### Gehäuse und Design

Die konvex gerundete Schallwand verhindert weitgehend das Auftreten klangschädlicher Kantendispersionen im Mitten- und Hochtönbereich und unterstützt damit die Arbeit der asymmetrischen Hochtönerkalotte. Das führt zu sehr guter Ortbarkeit einzelner

Instrumente.

### NUVERO 140, 110 UND 70

Augenfälliges Merkmal der nuVero 140 ist ihre doppelte D'Appolito-Gruppe, in der unsere neue Hochton-Seidenkalotte von jeweils zwei Mittel- und zwei Tieftönern umgeben wird. Die beiden unteren Chassis stellen nochmals zusätzliche Membranfläche im Bassbereich zur Verfügung und sorgen darüber hinaus für eine homogenere Verteilung der Schallenergie im Raum.

### Innovatives Dreieinhalb-Wege-System

Viele hochwertige Lautsprecher basieren auf der Drei-Wege-Technik. In zahlreichen Vergleichstests der letzten Jahre haben wir die Zweieinhalb-Wege-Auslegung der früheren nuLine 122 und nuWave 125 in der Sauberkeit der Mittenwiedergabe gegenüber den besten Drei-Wege-Boxen aber meist vorgezogen.

Die Vorteile des Drei-Wege-Prinzips – wie die Chance auf gleichmäßigeres horizontales Abstrahlverhalten – müssen gegen die Einfärbungen im Mittenbereich abgewogen werden, die durch die hohen Laufzeiten typischer Drei-Wege-Weichen, durch ungenügend angepasste Filterflanken der Frequenzweiche und die Wechselwirkungen mit den Chassis hervorgerufen werden. Je komplexer das Musikgeschehen ist, desto deutlicher sind diese Effekte hörbar.

Die Vorteile der Drei-Wege-Bauweise beizubehalten, ohne deren klangliche Nachteile in Kauf nehmen zu müssen, erschien vor wenigen Jahren nur mit Hilfe von Digitalen Signalprozessoren mit FIR-Filter-Technik möglich. Das bedeutet *wesentlich* höhere Kosten und hätte (wegen einer Latenzzeit von bis zu ca. 80 ms) die Einbindung in Surround-Systeme fast unmöglich gemacht. Die intensiven Arbeiten an einer neuen Filtertechnik und die Abstimmarbeiten an der früheren nuVero 14 führten parallel dazu zur Patenterteilung für eine neue Filteranordnung, die unter anderem deutlich geringeres *group delay* aufweist.

Bei der Ankopplung der Mitteltöner an die Tieftöner bedeutet das für die nuVero-Serie, dass die Gruppenlaufzeiten unter die Wahrnehmbarkeitsschwelle unserer Juroren gebracht werden konnten.

Eine weitere entscheidende Basis für die klangliche Perfektion der nuVero-Standlautsprecher bilden ebenfalls die komplett neu entwickelten Lautsprecher-Systeme.

### Hochtöner

Nur mit jahrelangen Entwicklungsarbeiten – gemeinsam mit unseren Lieferanten – war es möglich, die hervorragenden klanglichen und messtechnischen Eigenschaften unserer nuBox- und nuForm-Serien für die nuVero-Linie noch weiter zu verbessern. In intensiver mehrjähriger Zusammenarbeit mit unserem norwegischen Partner war der Hochtöner der vorherigen nuVero-Serie im Jahr 2008 schließlich serienreif.

Nach vielen erfolgreichen Jahren fiel es uns nicht leicht, ab 2011 von diesem zu einem neuen, dänischen Hersteller zu wechseln. Ausschlaggebend war letztlich die Aussicht, mit diesem Partner die Gesamtqualität noch eine Spur verbessern zu können.

Das neue „Sahnestück“, das klanglich noch besser ist, war dann 2014 serienreif und hat ebenfalls eine 26-mm-Seidengewebekalotte, aber ein noch breiteres Rundstrahlverhalten und etwas bessere Klirrwerte.

Eine kleine Frequenzgangwelle konnte in der Frequenzweiche per-

fekt kompensiert werden.

Der Übergang zum Mitteltonbereich ist durch die Bedämpfung des angekoppelten Volumens hinter der Kalottenmembrane mit ähnlicher Technik wie beim Vorläufer-Modell gleich gut gelungen.

### Mitteltöner

Der Mitteltöner unserer bisherigen nuVero-Familie stellte eine wahre Ausnahme-Erscheinung dar. Umso schwieriger war es, ein Basis-Chassis zu finden, das nach der Optimierung seiner Eigenschaften eine nochmalige Steigerung der klangrelevanten Aspekte als möglich erscheinen ließ.

Auch hier stand wieder – neben der Perfektionierung sämtlicher akustischen Eigenschaften – die Optimierung des Rundstrahlverhaltens im Vordergrund, weshalb der Durchmesser der Sandwich-Flachmembran mit 5,2 cm bewusst wesentlich kleiner als der Korbdurchmesser gewählt wurde. Der starke Antrieb durch den kräftigen Neodym-Magnet in Kombination mit dem für einen Mitteltöner sehr großen Schwingspuldurchmesser verbindet einen hohen Wirkungsgrad mit einer deutlich höheren thermischen Belastbarkeit.

### Tieftonbereich

Zur Optimierung des Tieftonbereiches mussten mehrere sich teils widersprechende Kriterien miteinander in Einklang gebracht werden. Einerseits durfte die Gesamtmembranfläche nicht zu groß ausfallen, damit sich die Basschassis nicht gegenseitig wertvolles Volumen für den geforderten Tiefgang rauben, andererseits sollten heftige Dynamikattacken unverzerrt wiedergegeben werden können. Als Ergebnis der aufwendigen Entwicklungsarbeiten entstanden zwei außergewöhnlich hoch belastbare 18- und 15-cm-Longstroke-Woofers, deren Sandwich-Membranen (Glasfaser-Zellstoff-Glasfaser) im Extremfall über drei (bzw. knapp drei) Zentimeter auslenken können.

Die nuVero 140 ist in der Lage, eine untere Grenzfrequenz von 25 Hz (–3 dB) bei hohem Pegel zu realisieren und knackt dabei deutlich die „magische“ 30-Hz-Marke, die bisher nur sehr guten Aktiv-Subwoofern vorbehalten war. Auch die anderen Modelle dieser Serie setzen Maßstäbe im Verhältnis von Nettovolumen und Tiefbass.

Die vertikale Ausdehnung der Tieftönerreihe reduziert das Entstehen störender Raumresonanzen (Moden) zwischen Boden und Decke des Hörraumes besonders effektiv.

Mit den hochwertigen Chassis, der Filtertechnik der Weiche und dem praktisch resonanzfreien Gehäuse wird die Basspräzision erreicht, die in Tests der Fachzeitschriften besonders hervorgehoben wurde.

### Klangwahlschalter

Drei auf dem Anschlussterminal untergebrachte Schalter ermöglichen es, individuelle Klangpräferenzen zu realisieren, beziehungsweise die Lautsprecher optimal auf die akustischen Besonderheiten eines Abhörzimmers anzupassen. Dabei lässt sich der Hochtonbereich anheben, absenken oder gehörmäßig neutral wiedergeben.

Die aufgrund der geschwungenen Schallwand sehr gering gehaltenen Kantendispersionen lassen sich bei nuVero 140 und 110 durch einen zusätzlichen Mittenschalter gehörmäßig nahezu perfekt kompensieren.

Mit den Bassschaltern dieser beiden Lautsprecher lassen sich tiefe Frequenzen absenken, die in kritischen Räumen oder bei wandnaher Aufstellung eine Dröhnneigung verursachen könnten.

### Frequenzweiche

Das komplexe Design der mit 66 hochwertigsten Bauteilen bestückten Frequenzweiche bei der nuVero 140 berücksichtigt alle uns bekannten Anforderungen an Frequenzgang und Impulsverhalten, vermeidet dabei aber weitgehend die großen Laufzeitunterschiede früherer Drei-Wege-Konstruktionen.

Die beiden nuVero Standlautsprecher gehen mit 25 und 32 Hertz (-3 dB) außergewöhnlich tief in den Basskeller und erreichen dabei beste Beurteilungen in der Sauberkeit des Bassbereiches.

### Gehäuse und Design

Die Gehäuse sind auf besonders günstige Abstrahleigenschaften und geringste Resonanzen optimiert. Speziell berechnete Versteifungs- und Dämpfungselemente, die Gehäuseresonanzen weitgehend unterdrücken, sind hierbei ebenso selbstverständlich wie das eigene Innengehäuse für die Mittelhochton-Sektion.

Der extreme konstruktive Aufwand treibt das Gesamtgewicht der nuVero 140 auf stattliche 47 kg und schlägt sich in einer nur selten anzutreffenden „Feinauflösung“ nieder.

### CENTERSPEAKER NUVERO 70

Der Center nuVero 70 wird ausführlich in unserem Kapitel „Surround-Lautsprecher“ beschrieben. Er ist gleichermaßen als Center- und als Hauptlautsprecher geeignet und stellt eine verkleinerte Version der nuVero 110 dar. Die Lautsprechersysteme, die Weiche und das massive Gehäuse markieren für eine Box dieser Volumenklasse wohl die Grenze des Machbaren und liefern neben Präzision und Sprachverständlichkeit eine Dynamik (Belastbarkeit 370/280 Watt), die man sonst nur weit größeren Lautsprechern zutrauen würde.

Mit seiner unteren Grenzfrequenz von 39 Hz (-3dB) klingt dieser Lautsprecher so massiv wie typische Standlautsprecher der doppelten Volumenklasse.

### REARSPEAKER NUVERO 50 UND 30

Der Rearspeaker nuVero 50 beruht auf dem D'Appolito-Prinzip und stellt eine deutlich aufwendigere Weiterentwicklung auf Basis des nuLine WS-14 dar. Er ist noch belastbarer (280/180 Watt) und harmoniert als Rearspeaker perfekt mit den Frontlautsprechern der nuVero-Serie.

Er hat in Zusammenarbeit mit einem Subwoofer oder mit dem Aktiven Tuning Modul ATM-50 aber auch besondere Qualitäten als Hauptlautsprecher.

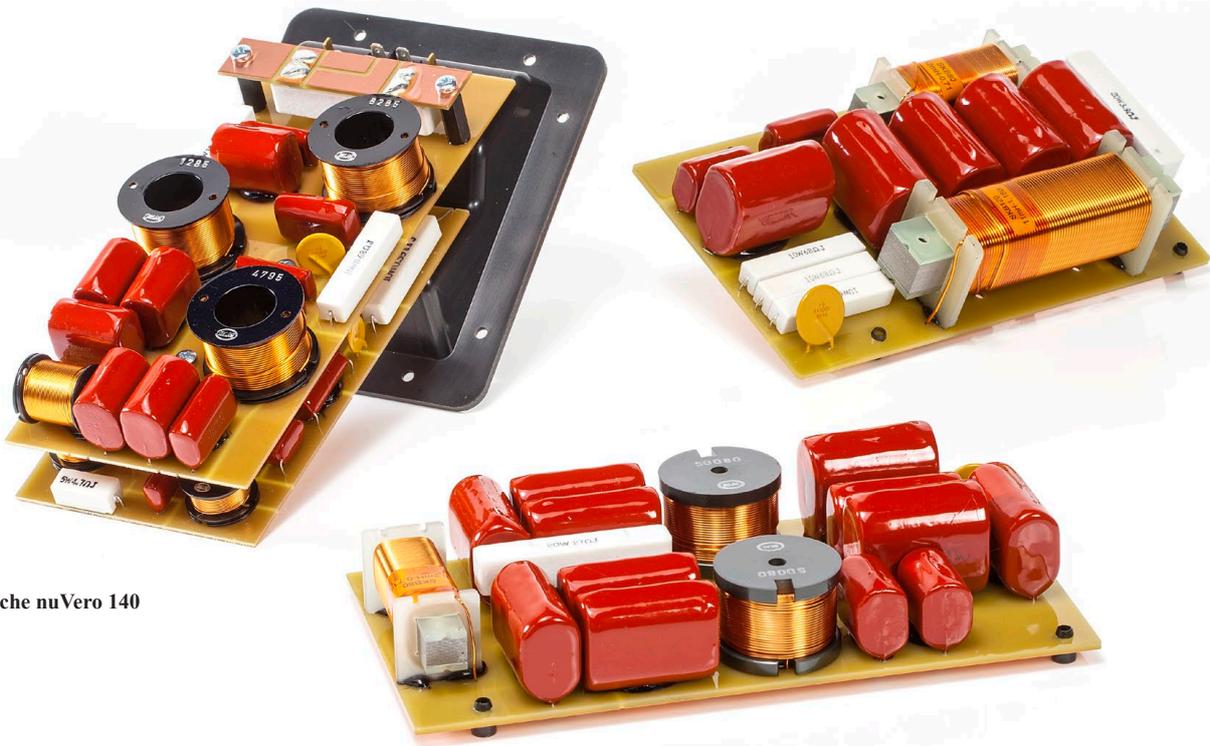
Links und rechts neben einem Fernseher platziert, findet der hohe Bildqualitätsstandard der neuesten Flachbildschirmgeneration mit dem nuVero 50 seine konsequente Ergänzung in der Tonqualität

### nuVero 30 als Rearspeaker

Durch den zuschaltbaren rückwärtigen Hochtöner wird die nuVero 30 zum Dipollautsprecher und ist damit hervorragend als universeller Surround-Rearspeaker für hochwertige Mehrkanalanlagen geeignet. Die ohnehin schon bemerkenswert hohe Pegelfestigkeit kann mit Hilfe der *Fullrange/Sat*-Filterstufe (Bass-Schalter „reduziert“) nochmals gesteigert werden.

### AKTIVER SUBWOOFER NUVERO AW-17

Auf diesen Subwoofer wird im Kapitel „Surround-Lautsprecher und Subwoofer“ Seite 38 ff eingegangen.



Frequenzweiche nuVero 140

# Entwicklung der Nubert nuPro<sup>®</sup>-Lautsprecherserie

Die nuPro-Serie besteht zurzeit aus:

- den **Aktiv-Monitoren nuPro A-300, A-200 und A-100**
- den **Aktiv-Standboxen nuPro A-500 und A-700**
- dem **aktiven Center-Speaker/Stereoboard nuPro AS-250**
- dem **Aktiv-Subwoofer nuPro AW-350**

## ZIEL

Parallel zu fast jeder (Passiv-) Box aus unserem Programm bauen wir schon seit Jahren zum Vergleich und zur Hilfe bei den Abstimmungsarbeiten die entsprechenden Laborversionen in Aktivtechnik auf – manchmal auch mit Digitalen Signalprozessoren.

Damit sind unterschiedliche Abstimmungsvarianten wesentlich einfacher zu realisieren, wodurch die Hörtests sehr effektiv werden. Auch lässt sich dabei der Umschaltaufwand und der damit verbundene „Drahtverhau“ in Grenzen halten.

Früher wurden für diese Tests bis zu vier hochwertige analoge Leistungsverstärker pro Kanal eingesetzt, später kamen auch spezielle Class-D-(Digital)-Verstärker hinzu. Durch die Erfahrungswerte bei diesen Hörtests schälten sich einige wenige Class-D-Verstärkerkonzepte heraus, die wir klanglich von den besten analogen Verstärkern nicht mehr unterscheiden können. Mit diesen Verstärkern wollten wir kompakte, sehr präzise und preisgünstige Nahfeldmonitore realisieren, die auch als hochwertige Computermonitore einsetzbar sind.

Auch für viele semiprofessionelle Anwendungen – wie für kleine Tonstudios – gab es eine Lücke im Angebot an hochwertigen und gleichzeitig preisgünstigen Studiomonitoren. Es ist in diesem Segment nicht selbstverständlich, dass man sich auf die angegebenen Technischen Daten verlassen kann.

Für die nuPro A-100, 200 und 300 streben wir Frequenzgänge von 50, 39 und 30 Hz bis 20.000 Hz  $\pm 1$  dB an, die wir üblicherweise auch in der Serie halten können und garantieren eine Linearität von  $\pm 3$  dB.

## HÖRGEWOHNHEITEN IM MP3-ZEITALTER UND HIFI-STEREO

Viele, vor allem jugendliche Hörer kennen heutzutage nur noch den Sound stark datenreduzierter MP3-Files, die über oft „merkwürdig klingende“ Ohrstöpsel oder unsagbar schlechte PC-Lautsprecher das Trommelfell erreichen.

Erstaunlicherweise nehmen die meisten fasziniert den Unterschied wahr, wenn sie erstmals einen richtig guten Aktivlautsprecher hören, der von Lossless Audio oder einer in den Laptop eingelegten, gut produzierten CD gespeist wird.

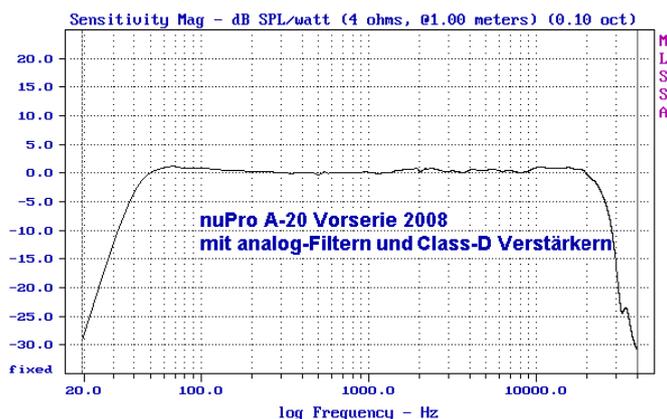
Wenn so ein Lautsprecher (ohne „brummelnden“ Billig-Woofer) bis etwa 50 Hz hinunterreicht, kann sein Klang aufgrund seiner Aufstellung im Nahfeld beeindruckender sein als der manch guter, großer Stereoanlage in einem eher ungünstigen Raum.

Häufig resultiert aus dieser Hörerfahrung die „Ansteckung mit dem HiFi-Virus“.

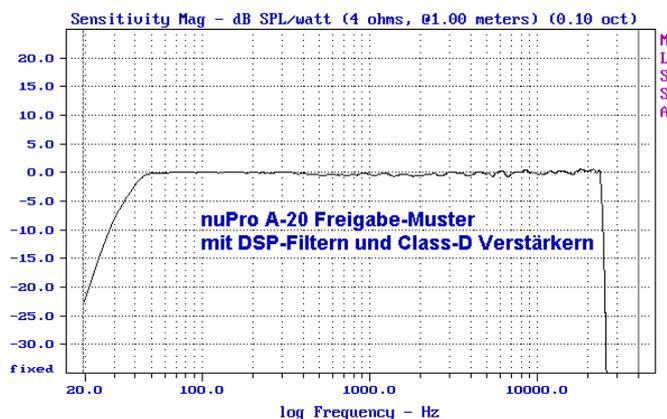
## DIE FRÜHEREN SERIEN NUPRO A-10 UND A-20

### Abstimmung, Anschlussmöglichkeiten und Bedienelemente

Die Entwicklung der ersten nuPro-Modelle A-10 und A-20 hat uns und einigen externen Ingenieuren eine Menge Arbeit gemacht. Im April 2008 konnten wir auf der Ausstellung „High End“ in München erstmals ein komplett serienreif entwickeltes Pärchen A-10 vorführen, dessen Kleinsignalverarbeitung und Frequenzweiche analog arbeiteten.



Die Vorserien der A-10 und A-20 klangen sensationell – aber sehr schnell kam der Wunsch nach zusätzlichen Digitaleingängen und deutlich mehr Verstärkerleistung auf.



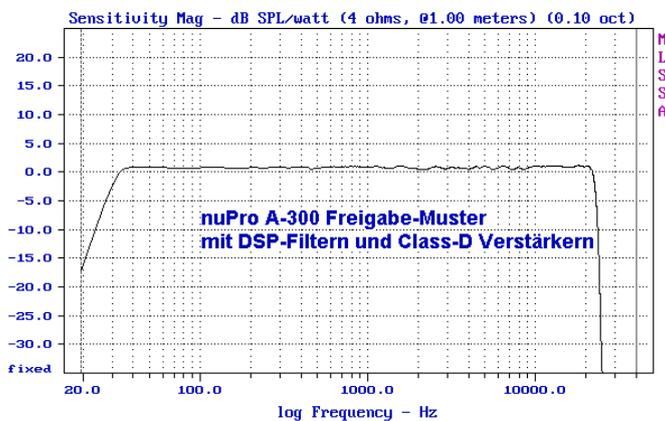
### Eingänge und Signalverarbeitung

Preisgünstige Aktivlautsprecher werden heute am häufigsten an Computern eingesetzt. Wenn sie sehr hochwertig konstruiert und gefertigt sind, bieten sich auch die Einsatzgebiete in den Bereichen HiFi, Multimedia und Studio an.

Der USB-Eingang umgeht die oft etwas „wackeligen“ analogen Computerverbindungen und die interne Soundkarte. Das Digitalsignal wird in der Box durch hochwertige D/A-Konverter gewandelt, damit hat man die Basis für so gute Klangqualität, wie sie nicht jede Soundkarte liefern kann.

## NUPRO A-100, A-200 UND A-300

Die analogen Cincheingänge sowie die optischen und koaxialen Digitaleingänge sind für den Anschluss an HiFi-Komponenten gedacht. Für die Aufbereitung und Aufteilung der Signale sorgt eine hochmoderne, speziell für die nuPro-Modelle entwickelte und programmierte DSP-Aktivweiche. Die Klangregler entsprechen in ihrer Funktion weitgehend denen unserer ATM-Module. Dazu gehört auch die Erweiterung der Basswiedergabe bis 30 Hz (-3 dB) bei der nuPro A-300. Ohne diese Erweiterung wären es für Lautsprecher dieser Volumenklasse etwa 48 Hz. Viele größere Boxen würden sich über solch ein Bassfundament freuen, für eine Kompaktbox ist dieser Wert schlicht sensationell. Aber auch die A-200 und 100 klingen so erwachsen und voluminös wie die besten Passivlautsprecher der doppelten bis dreifachen Volumenklasse.



### Durchgängiges Digitalkonzept

Bei Verwendung der Digitaleingänge ergibt sich ein bisher unerreichter „Signal to noise“-Abstand. Selbst bei höchster PegelEinstellung ist im Hörabstand von unter 5 cm keinerlei Rauschen oder Brummen zu vernehmen. Damit ist erstmals eine LautstärkeEinstellung auf digitaler Ebene ohne hörbare Nachteile möglich geworden!

Diese Verbesserung des Rauschabstands (um mehr als 20 dB) wurde erst dadurch möglich, dass die bisherigen Digital/Analog-Wandler durch einen „Kniff“ umgangen werden konnten: Das serielle Digitalsignal vom Eingang wird direkt in die Pulsbreitenmodulation des Leistungsverstärkers umgerechnet. Der Vorteil im Rauschabstand ergibt sich dadurch, dass die Digital/Analog-Wandlung erst im (passiven) Tiefpassfilter am Ausgang des Leistungsverstärkers erfolgt.

Bei den Analogeingängen ist der Rauschabstand durch die Eigenschaften des A/D-Wandlers begrenzt. Hier konnten wir ein Optimum durch die automatische Pegelanpassung erzielen, die für alle gebräuchlichen Eingangsspannungen (bis über 3 Volt) den maximalen Dynamikbereich erzielt.

### Umfangreiche Einstellmöglichkeiten und Fernbedienbarkeit

Die Struktur der Menüführung wird in den Bedienungsanleitungen im Kapitel „Fernbedienung“ ausführlich beschrieben. Diese können auf unserer Webseite [www.nubert.de](http://www.nubert.de) heruntergeladen werden – in der Rubrik Wissen > Downloads > Bedienungsanleitungen > nuPro-Serie (neu).

### Einsatz in Tonstudios

Durch die außergewöhnlich hohe Neutralität sind die nuPros für den Einsatz als Nahfeldmonitor in Tonstudios prädestiniert.

### Subwoofer-Impulsverarbeitung

Zur besseren Impulsverarbeitung gegenüber typischen Sub/Sat-Kombis verfügen die nuPro-Aktivlautsprecher über eine Signalverzögerung, die es den zugehörigen Subwoofern erlaubt, sich nahtlos in die Impulsverarbeitung des Gesamtsystems zu integrieren.

Üblicherweise hinken Subwoofer in einer Sub/Sat-Kombination den Mitten und Höhen um einen gesamten Wellenzug hinterher, was einer „knackigen“ Impulswiedergabe entgegen wirkt.

Bei den nuPros „warten“ die Satelliten darauf, bis die Wellenfront der Subwoofer „da“ ist und erzeugen damit ein zeitrichtiges, impulsoptimiertes Signal mit deutlich „knackigerem“ Bass.

### Tief- und Hochtonlautsprecher

Für die Umwandlung der elektrischen Signale in Schall kommen in den nuPro-Modellen jeweils ein Tiefmitteltöner mit Polypropylenmembran und ein Hochtöner mit Seidengewebekalotte zum Einsatz. Diese Chassis sind speziell für Nubert gebaute Modelle, von denen einige schon in anderen, passiven Nubert Boxen ihre exzellenten Klangqualitäten unter Beweis gestellt haben.

Mit den nuPro-Aktivlautsprechern ist die Zeit unzulänglicher Computerklänge endlich vorbei und für die vielen Multimediafans wird der Traum vom Klang in echter HiFi-Qualität greifbar nahe. Die dafür notwendige Investition liegt deutlich unter dem, was ein vergleichbares System aus Einzelkomponenten erfordert.

### Gehäuse

Die abgerundeten Längskanten des edel verarbeiteten Gehäuses unterdrücken das Entstehen klangschädlicher Kantendispersionen und tragen damit erheblich zur Abbildungsgenauigkeit der nuPro-Serie bei.

## NUPRO A-500 UND A-700

Mit diesen beiden Standlautsprechern haben wir das nuPro-Konzept einer extrem sauberen Wiedergabe weiterentwickelt und für den Einsatz in – auch sehr großen – Wohnräumen perfektioniert. So wurde die Leistung der Verstärker durch zusätzliche „Basskanäle“ um 270 bzw. 380 Watt erhöht. Aus der Gesamtleistung von 450 bzw. 600 Watt pro Kanal resultiert eine raumgreifende Dynamik, die auch höchsten Ansprüchen gerecht wird.

## AKTIVES STEREOBOARD NUPRO AS-250

Der aktive Center/Stereo-Lautsprecher AS-250 ist ein vollaktiver TV-/Multimedia-/HiFi-Stereolautsprecher, der sämtlichen uns bekannten Soundboards klanglich weit überlegen ist. Seine moderne, ausgefeilte Digitaltechnik und die klangstarken Treiber haben sich in den Aktiv-Monitoren der nuPro-Serie bewährt. Mit seiner unteren Grenzfrequenz von 36 Hz hebt er den meist „dünnen“ Klang moderner Flachbildfernseher – auch ohne zusätzlicher Subwoofer – auf den Klang sehr guter Stereoanlagen.

Durch die hohe Verstärkerleistung und die Technologie der vier Langhub-Tieftöner wird eine beeindruckende Klangfülle erreicht. Einige unserer Kunden verwenden den AS-250 auch zur klanglich überzeugenden Beschallung kleinerer Veranstaltungen und Partys.

# Klangunterschiede der Serien nuVero, nuLine und nuBox

Klangliche Unterschiede können nur subjektiv beschrieben werden, da das Hörempfinden jedes Menschen unterschiedlich ausgeprägt ist. Es ist aber klar, dass gut aufgestellte, neutrale Lautsprecher weniger „Eigenklang“ entwickeln und den Klangcharakter unterschiedlichster Aufnahmen wesentlich präziser hervortreten lassen als Lautsprecher, die welligen Frequenzgang oder sonstige Verfärbungen aufweisen.

## In Kurzform kann man zu den Klangunterschieden unserer Lautsprechererien Folgendes sagen:

Mit der **nuVero** Serie sollte – bei größtem Entwicklungs- und Produktionsaufwand – kompromisslos die höchstmögliche Klangqualität und Anpassbarkeit an unterschiedliche Hörgewohnheiten erreicht werden.

Die **nuLine** Lautsprecher sind für sehr hohe Präzision und Neutralität entwickelt worden, was nur durch noch deutlich aufwendige Konstruktion und Fertigung gegenüber der nuBox-Familie möglich wurde.

Die **nuBox** Linie ist ebenfalls auf große Verfärbungsfreiheit und Dynamik ausgelegt und setzt in ihrem Preissegment wohl Maßstäbe in Klang, Aufwand und Messwerten.

Die Neutralität aller Familien wird von den meisten unserer Kunden honoriert. Nach Auswertung der Zufriedenheitsrückmeldungen, die den Boxen beiliegen, heißt es fast immer: „restlos begeistert“.

Die wenigen Kunden, die vom Kauf zurücktreten, hätten sich meist ein „räumlicheres“ oder „wärmeres“ Klangbild gewünscht. „Räumlichkeit“ in eine Box „einzubauen“, bedeutet jedoch eine gewisse Abkehr vom Streben nach höchster Präzision.

„Wärme einzubauen“ halten wir *dann* für „erlaubt“ (oder wünschenswert), wenn dieses Verhalten auch *abschaltbar* ist.

## Räumlichkeit

Eine manchmal erhoffte „Räumlichkeit“ des Klangbildes ist in vielen Musikaufnahmen nicht in der erwarteten Form enthalten. Der ideale Lautsprecher dürfte hier kein Eigenleben entwickeln.

In der Praxis fügen unterschiedliche Lautsprecherkonstruktionen dem Musikgeschehen jedoch unterschiedlich ausgeprägte *Räumlichkeitsillusionen* hinzu, die in Wirklichkeit *Verfärbungen* darstellen – manchmal aber als angenehm empfunden werden. Dieser Effekt reduziert die Natürlichkeit bei der Darstellung einzelner Instrumente und muss gegen den „künstlichen Räumlichkeitszuwachs“ abgewogen werden.

Die Quelle dieser Zusatzräumlichkeit sollte zumindest *abschaltbar* sein. Dann könnte man sie für diejenigen Musikaufnahmen aktivieren, die damit „lebendiger“ erscheinen. Für die besseren Aufnahmen, die eine natürliche Abbildung des Musikgeschehens *schon mitbringen*, könnte die Räumlichkeitsquelle dann ausgeschaltet werden.

*Räumlichkeit* im Klangbild konventionell abstrahlender Lautsprecher ist *sehr einfach* zu bewerkstelligen:

Man muss sich als Entwickler nur einen größeren (oder mehrere kleinere) *Fehler bei der Konstruktion* erlauben!

Wenn die Box in ihren Abstrahleigenschaften gestört ist, hört man sie mit dem linken und dem rechten Ohr unterschiedlich, wodurch sich der Eindruck ergibt, dass verschiedene Frequenzen aus unterschiedlichen Richtungen kommen.

Man verliert dabei Präzision und Ortbarkeit. Speziell bei Billig-

boxen gibt es oft Mittel- und Hochtöner, die über weite Frequenzbereiche *gemeinsam* laufen. Dadurch werden die Klänge gleichzeitig von mehreren Quellen abgestrahlt und kommen je nach Abstrahlwinkel mit unterschiedlicher Phasenlage an den Ohren an oder löschen sich durch Interferenzen dabei sogar aus. Diese Effekte erzeugen ein pseudoräumliches, sonst meist aber eher lästiges Klangbild.

Auch wenn Hochtonlautsprecher nicht bündig in die Schallwand eingelassen sind, werden die Frequenzgänge kräftig verbogen und vom Abstrahlwinkel abhängige, unterschiedliche Störungen verursacht.

Ein einfacher „Test“ für künstliche Räumlichkeit besteht darin, ein Monosignal über die Lautsprecher wiederzugeben. Wenn man im „sweet spot“ sitzt, also an der Spitze des gleichseitigen Dreiecks, das aus Lautsprechern und dem Hörer gebildet wird, muss die Musik oder ein Nachrichtensprecher *exakt aus der Mitte* zwischen den Lautsprechern kommen – so, als wäre hier ein einzelner Lautsprecher platziert (und die anderen Boxen wären abgeschaltet).

Bei immer weiter getriebener Sauberkeit einer sehr guten Box wird die Ortbarkeit einzelner Instrumente immer besser! Die luftige Räumlichkeit wird dabei aber *geringer*, wenn sie auf der entsprechenden Musikaufnahme nicht enthalten ist! Bei manchen Klassikaufnahmen ist allerdings die Ortbarkeit durch zu geringe Mikrofonabstände wesentlich ausgeprägter, also unnatürlicher, als im Konzertsaal!

Die Kantenbrechungen, die von der Geometrie der Schallwand kommen, werden vom Ohr *dem Lautsprecher* zugeordnet. Die ersten Reflexionen von einer etwa 1 m entfernten Seitenwand des Raumes gehen kaum noch in den subjektiv empfundenen Frequenzgang ein, bringen aber – bei kaum reduzierter Ortungsgenauigkeit – zusätzliche Räumlichkeit im Klangbild.

Ein „losgelöstes“ und „räumlicheres“ Klangbild lässt sich also besser durch Variationen der Raumakustik erreichen als durch weniger präzise Lautsprecher. Weil sich physiologische Effekte oft nur schwer fassen lassen, kann ein technisch eindeutig unterlegener Lautsprecher bei manchen Musikstücken aber besser gefallen.

Eine „räumlichere“ Darstellung des Klangbildes (als sie auf der Aufnahme enthalten ist) sollte für einen Lautsprecher eigentlich kein wirkliches Entwicklungsziel sein. Trotzdem kann sich manchmal ein ordentlicher Kompromiss auch *eher zufällig* ergeben.

Diese Inkonsequenz anzupacken und Lautsprecher zu entwickeln, die das Klangbild luftiger machen und damit „verschönern“ sollen, reizt die Entwickler schon seit Jahrzehnten.

Wir haben Anfang der 90er Jahre sehr intensiv auf diesem Gebiet geforscht und experimentiert. Vor allem bei der Entwicklung unserer früheren nuForm Serie wurden unzählige Hör- und Messvergleiche mit verschiedenen Schallwand-Formen unternommen und an guten Kompromissen gefeilt.

Konsequenter und eleganter ist es wohl, das Thema „künstliche Räumlichkeit“ mit **gut gemachten Dipolstrahlern** wie nuVero 30, nuLine 24 oder nuBox 303 anzupacken. Diese Modelle sind auch auf Direktabstrahlung umschaltbar.

Die eigentliche Lösung für Ambitionen dieser Art stellen jedoch die Raumsimulationsprozessoren dar, mit denen man unterschiedliche Konzertsaalakustiken simulieren kann.

Genau genommen bekommt man dann aber *zwei* Konzertsäle: Den einen, in dem die Musik aufgenommen wurde und den zweiten, in dem die Wiedergabe erfolgt.

Unserer Meinung nach besteht die eigentliche Aufgabe eines Lautsprechers nach wie vor darin, die elektrischen Signale möglichst unverändert in Schall zu wandeln.

### Präzision und Wärme

Das sind zwei eher widersprüchliche Forderungen. Für „Wärme“ im Klangbild gibt es mehrere Ursachen. Die wichtigste ist aber wieder einmal der Verlauf des Frequenzganges: Ist der Grundtonbereich etwas ausgeprägter oder der Verlauf vom Bass zu den Höhen leicht abfallend, klingt die Box *wärmer* als bei streng linearer Abstimmung. Genau diesen Verlauf kann man mit unseren Aktiven Tuning Modulen individuell einstellen (siehe Kapitel „Klangoptimierung mit Aktiven Tuning Modulen“ auf Seite 47). Manchmal wird ein hartes, metallisches Klangbild aber auch durch Unverträglichkeiten zwischen Lautsprecher und Verstärker hervorgerufen.

### DIE NUVERO-SERIE

Unsere nuVero-Serie liegt im Rundstrahlverhalten, in der Dynamik und in der Basspräzision an der Grenze dessen, was – unabhängig von der Preiskategorie – in der jeweiligen Volumenklasse nach dem heutigen Stand der Technik machbar ist.

Durch den maximalen Membranhub von bis zu 30 mm erreichen die Tieftöner enorme Schalldrücke, wie sie sonst nur mit der doppelten Membranfläche möglich sind.

Die beiden nuVero-Standlautsprecher gehen mit 25 und 32 Hz (-3 dB) außergewöhnlich tief in den Basskeller und erreichen dabei beste Beurteilungen in der Sauberkeit des Bassbereiches.

Auch die Mittel- und Hochtonlautsprecher der nuVero Familie wurden auf Basis der besten uns bekannten Chassis gleicher Membrangröße in jahrelanger Feinarbeit so intensiv weiterentwickelt, dass man inzwischen von kompletten Neukonstruktionen sprechen kann.

Neue Ansätze in der Filtertechnik führten zu enorm aufwendigen Frequenzweichen, für die wir parallel dazu das Patent für eine neue Filteranordnung mit drastisch reduzierten Gruppenlaufzeiten erhalten haben.

### DIE NULINE-SERIE

Die nuLine-Serie ist für qualitätsbewusste Musikliebhaber mit einer Vorliebe für klassisches Design in edlen Echtholzoberflächen oder perfekt verarbeitetem Schleiflackfinish gedacht. Sie stellt für Lautsprecher mit breit strahlenden Hochtönen und geringem Verrundungsradius der Schallwandkanten in der Linearität wohl die Grenze des Machbaren dar. Im Laufe vieler Versuchsreihen und Hörtests wurde sie darüber hinaus auf exakte Raumabbildung und Präzision bei der Impulsverarbeitung optimiert. Sie ist im Vergleich zur nuBox Serie noch „näher am Ideal“ und baut mit guten Aufnahmen eine beeindruckende Bühne auf.

Die nuLine 34 ist der nuBox 383 in der Durchsichtigkeit der Mittenwiedergabe überlegen. Die Substanz ihres Klangbildes ist – trotz ihres geringeren Volumens – bis zu recht hohen Lautstärken merklich „voller“, sie benötigt dafür aber kräftigere Verstärker. Bei sehr hohen Lautstärken ist die nuBox durch ihren höheren Wirkungsgrad und die größeren Membranflächen jedoch im Vorteil. Die nuLine 284 kann gegenüber der 264 im Tiefbass deutlich höhere Pegel verarbeiten, weil ihre integrierten Sub-

woofer-Chassis insgesamt eine wesentlich größere Membranfläche haben.

### DIE NUBOX-SERIE

Die nuBox-Baureihe stellt die Basis unserer Lautsprecher-Entwicklungen dar – auch für die anderen Boxenlinien. Sie weist sehr gute analytische Fähigkeiten auf und liefert eine hohe Ortungsgenauigkeit. Mit abgerundeten Gehäusekanten (Verrundungsradius ca. 1 cm aufwärts) und abgenommener Stoffbespannung lassen sich sehr lineare Frequenzgänge aber leichter erzielen als mit eckigen Kanten.

Bedingt durch die Gehäusekanten der nuBoxen treten bei 0 Grad horizontalem Abhörwinkel (also Box exakt auf den Hörer gerichtet) *mehr* Kantendispersionen auf als bei anderen Winkeln. Das kann (je nach Ohrhöhe) zu einer leichten Welligkeit des Frequenzganges von  $\pm 2$  dB im Bereich 3 bis 5 kHz führen.

Wir empfehlen deshalb einen Abhörwinkel von seitlich circa 10 Grad. Dabei hat der Frequenzgang weniger Welligkeiten und reicht ohne Abfall bis über die Hörgrenze. Bei größeren Abhörwinkeln werden die höchsten Frequenzen stärker gedämpft.

Bei Winkeln von 20 Grad oder mehr kommt für die Modelle mit „Höhenschalter“ die Schalterstellung „oben“ in Betracht.

### AKTIVE TUNING MODULE

Fast alle unserer Kompakt- und Standlautsprecher lassen sich durch den Einsatz spezieller Aktiver Tuning Module – kurz **ATM-Module** – im Bass aufwerten und in der „Sanftheit“ einstellen.

Besonders die (geschlossene) nuVero 50 und die früheren Kompaktboxen (wie nuLine 30 und 32 sowie nuBox 311 und 381) profitieren von der Basserweiterung durch ATM-Module ganz erheblich. Mit den speziell dafür entwickelten Modulen spielen sie plötzlich in einer ganz anderen Volumenklasse.

Unsere neuen Kompakt- und Standlautsprecher setzen auch schon ohne ATM-Module neue Maßstäbe in der Tiefenwiedergabe. Hier sind zugehörigen Module nicht so sehr zur Erweiterung des ohnehin schon unglaublichen Tiefgangs gedacht, sondern stellen eine musikalisch außergewöhnlich effektive Lösung zur Anpassung an die akustischen Gegebenheiten des Raumes, die Aufnahmequalität und den persönlichen Hörgeschmack dar.

### DIPOLSPEAKER UND RUNDSTRAHLER ALS HAUPTBOXEN

Außer *direkt strahlenden* Lautsprechern hatten wir viele Jahre lang auch „Rundstrahler“ im Programm. Rundstrahlende Lautsprecher sind durch ihr substanzielles 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 Dipolstrahler, die eigentlich als Rearspeaker gedacht sind, aber beim Einsatz als Frontlautsprecher an die Rundstrahler-Tradition anknüpfen.

Die sehr kompakte nuVero 30 liefert auch ohne Subwoofer ein erstaunlich erwachsenes Klangbild und eignet sich deshalb hervorragend als Hauptlautsprecher einer hochwertigen kleinen Anlage. Viele unserer Kunden verwenden auch die noch kompakteren nuLine 24 – oder sogar die nuBox 303 als vordere Hauptboxen einer Stereoanlage.

Mit der Tiefbassunterstützung durch einen oder zwei Subwoofer erhält man das Bassfundament großer Standlautsprecher.

Der Reiz einer Dipollautsprecherkombination ist ihr luftig räumliches Klangbild. Bei dieser Art des Hörens spielt die perfekte Ortbarkeit einzelner Instrumente sicher 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 (zum Beispiel manche Drei-Wege-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!

# Surround-Lautsprecher und Subwoofer

Zusätzlich zu den Hauptboxen besteht unsere Palette an „Surround“-Lautsprechern zurzeit aus:

- den **Centerspeakern**  
**nuVero 70, nuLine CS-174 und CS-44,**  
**nuBox CS-413**
- den **Dipolspeakern**  
**nuVero 30, nuLine 24, nuBox 303**
- den **Wand- und Deckenlautsprechern**  
**nuVero 50, nuLine WS-14 und nuBox WS-103**
- den **Aktiv-Subwoofern**  
**nuVero AW-17,**  
**nuLine AW-1100 und AW-600,**  
**nuBox AW-993 und AW-443,**  
**nuPro AW-350**

## CENTERSPEAKER NUVERO 70

Der nuVero 70 harmoniert perfekt mit den Standlautsprechern nuVero 110 und 140. Weil er auch außergewöhnlich gute Fähigkeiten als Hauptlautsprecher aufweist, stellen zwei stehende und ein liegender beziehungsweise drei liegende nuVero 70 (Hauptlautsprecher links, Center, Hauptlautsprecher rechts) ebenfalls eine hervorragende Frontgruppe für Surround-Systeme dar. Die Umschaltbarkeit von „frei aufgestellt“ auf „wandnah“ ermöglicht neben dem Betrieb als Center auch den Einsatz als äußerst hochwertiger Wandlautsprecher für Flachbildschirme.

### Konstruktionsziel

Ziel der Entwicklung des nuVero 70 war es, die bisher besten Center-Lautsprecher aus dem Nubert Programm klanglich noch zu übertreffen. Ein kompromissloser Wandler war gefordert, bei welchem Klanghomogenität, Auflösung und Rundstrahlverhalten ein bisher nicht gekanntes Niveau erreichen sollten. Trotz der hohen Ansprüche sollte der nuVero 70 noch wohnraumfreundliche Proportionen aufweisen.

Obwohl er hauptsächlich als Centerspeaker in einem hochwertigen Surround-System vorgesehen ist, sollte er aufgrund seiner Leistungsmerkmale und für seine Größe besonders tiefen Basswiedergabe auch universell als „Allround-Schallwandler“ einsetzbar sein.

Da der Optimierungsspielraum auch bei den bisherigen Modellen in fast allen klangrelevanten Kriterien fast vollständig ausgereizt war, lag ein besonderes Augenmerk auf der Erweiterung des Bassbereiches und der Optimierung des Rundstrahlverhaltens. Es mussten die Vorteile des Zwei-Wege-Prinzips mit den Vorteilen des Drei-Wege-Prinzips kombiniert werden, ohne deren Nachteile zuzulassen. Mit den neu entwickelten und eigens darauf „gezüchteten“ Lautsprecherchassis konnte zusammen mit der entsprechend ausgeklügelten Filterschaltung gleichzeitig das Abstrahlverhalten liegend und stehend verbessert werden. Somit war es möglich, zwei Fliegen mit einer Klappe zu schlagen.

### Lautsprecherchassis

#### •Hochtöner

Als Hochtönschallwandler kommt eine 26-mm-Kalotte zum Einsatz, die in Zusammenarbeit mit einem renommierten norwegischen Hersteller völlig neu entwickelt wurde. Sie zeichnet sich durch eine neue, speziell angekoppelte Volumenkommer aus. Hochtöner mit rückseitiger Kammer zeigen nur dann klang-

liche Vorteile, wenn sich der von der Membranrückseite abgestrahlte Schall vollständig absorbieren lässt. Hierbei müssen das Dämpfungsmaterial, seine Lage und insbesondere die Form der Kammer exakt aufeinander abgestimmt sein. Nach schier endlosen Mess- und Versuchsreihen gelang es, dieses Problem in den Griff zu bekommen. Die Bedämpfung gelang dermaßen gut, dass der Hochtöner ohne Weiche gemessen bis über 20 kHz keinerlei Resonanzen mehr zeigt.

Auch das Rundstrahlverhalten dieses Hochtontreibers verdient Beachtung: Hochtonkalotten von 25/26 mm Durchmesser strahlen prinzipbedingt im Superhochtonbereich – oberhalb etwa 10 kHz – zunehmend gerichtet ab.

Die Messungen und Hörvergleiche zeigten jedoch, dass sich das Bündelungsmaß durch eine spezielle Schallführung unmittelbar an der Frontplatte nochmals verbessern ließ. Gegenüber bisherigen Konstruktionen konnte die durch Bündelung verursachte Pegelreduzierung etwa halbiert werden.

#### •Mitteltöner

Prinzipbedingt strahlen großflächige Schallquellen den Schall bei zunehmender Frequenz stärker gebündelt ab als Strahler mit kleiner Ausdehnung. Um den Bündelungseffekt insbesondere im musikalisch wichtigen Mitteltonbereich so gering wie möglich zu halten, wurde ein Mitteltöner mit kleinem Membrandurchmesser eingesetzt.

Auch hier konnten zwei Fliegen mit einer Klappe geschlagen werden: Kleine Membranen neigen erst bei viel höheren Frequenzen zu Partialschwingungen als große, was wiederum einer „sauberen“ Mitteltonwiedergabe zugute kommt. Dennoch war es schwierig, ein Chassis als Basis für die Entwicklung eines neuen Mitteltöners zu finden, das den geforderten Qualitätsansprüchen gerecht werden konnte. Die Wahl fiel auf das beste uns bekannte Breitbandsystem dieser Größe – das einzige, das bis weit in den Hochtonbereich keinerlei Störungen im Frequenzverlauf aufweist. Der daraus entwickelte Mitteltöner überrascht mit einer faszinierenden Kombination aus „Durchhörbarkeit“ und Feinauflösung.

#### •Tieftöner

Bei Zwei-Wege-Systemen müssen Tieftöner bis etwa 2000 Hz hinauf betrieben werden. Weil die Trennung zur Mitteltongruppe beim nuVero 70 schon bei deutlich niedrigeren Frequenzen erfolgt, hatten wir bei der Konzeption der Tiefton-Chassis wesentlich größere Freiheiten.

Der kritische Bereich, in dem Partialschwingungen auftreten könnten, beginnt bei diesen Treibern erst weit oberhalb der Trennfrequenz zu den Mitteltönern. Zudem treten bis zur Trennfrequenz kaum Bündelungseffekte in horizontaler und vertikaler Richtung auf.

Die 150-mm-Tieftöner stellen eine komplette Neuentwicklung dar. Erstmals werden bei Nubert Glasfaser-Sandwich-Membranen eingesetzt. Jeweils zwei Lagen Glasfaser umgeben eine Lage Zellstoff. Dies ergibt eine enorme Zugfestigkeit, hervorragende Dämpfungseigenschaften und hohe Steifigkeit, was auch bei Membranauslenkungen bis zu 30 mm und höchsten Lautstärken für impulsgenaue Wiedergabe sorgt.

Umfangreiche Simulationsläufe und anschließende Abgleichmaßnahmen am Schwingssystem führten dazu, dass dieser Treiber neben seiner enormen Großsignalfestigkeit – bezogen auf das vorhandene Gehäusevolumen – Rekordwerte im Tieftang aufweist.

So erzielen die beiden Ultralanghubtreiber im nuVero 70 Gehäuse eine „subwooferverdächtige“ untere Grenzfrequenz von 38 Hz (–3 dB). Der Hörtest gestaltet sich entsprechend verblüffend: der im Vergleich „kleine“ nuVero 70 liefert eine Fülle und Präzision im Bassbereich, die einigen deutlich größeren Standlautsprechern überlegen ist.

### Gehäuse

Auch das Gehäuse des nuVero 70 setzt hinsichtlich Optik, Mechanik und Technologie Maßstäbe. Speziell berechnete Versteifungselemente, die Gehäuseresonanzen weitgehend unterdrücken, sind hierbei ebenso selbstverständlich wie eigene Innengehäuse für die Mittelhochtonsektion. Der extreme konstruktive Aufwand treibt das Gesamtgewicht des nuVero 70 auf stattliche 19 kg und schlägt sich in einer nur selten anzutreffenden „Durchhörbarkeit“ des Klangbildes in Verbindung mit einem schier unbegrenzten Dynamikumumfang nieder.

### CENTERSPEAKER NULINE CS-174

Beim Einsatz in Surround-Systemen soll der mittlere Lautsprecher einen Klangcharakter haben, der den Hauptlautsprechern sehr ähnlich ist, damit das Klangbild homogen und nicht „zerrissen“ wirkt. Der Center sollte besonders gut mit unseren neuen nuLine-Standlautsprechern 284 und 264 harmonisieren.

Eine weitere Forderung war ein deutlich besseres Abstrahlverhalten, als es mit typischen Center-Lautsprechern erreichbar ist. Obwohl er hauptsächlich als hochwertigen Centerspeaker entwickelt wurde, sollte er aufgrund seiner Gesamtqualität und seiner erstaunlich tiefen Basswiedergabe auch als „Allround-Schallwandler“ einsetzbar sein.

### Konstruktions-Details

Um die Forderung nach dem breiten horizontalen Abstrahlbereich ohne Phasenauslöschungen erfüllen zu können, wurde auf die spezielle Drei-Wege-Technik zurückgegriffen, die vor wenigen Jahren erstmals in unserer nuVero-Linie zum Einsatz kam. Das erlaubt eine Tieftönertrennfrequenz von 500 Hz – also etwa zwei Oktaven niedriger als bei typischen Centerspeakern.

Damit liegen die Wellenlängen des abgestrahlten Schalls im Vergleich zur Ausdehnung der Schallquelle in einem unkritischen Bereich.

Die erreichten Klangeigenschaften erforderten eine sehr komplexe Frequenzweiche, deren Aufbau mit so hochwertigen Bauteilen für eine Box dieser Preisklasse absolut außergewöhnlich ist.

### Schalter

Weil Musik-DVDs und -Videos oft ausgesprochen aggressiv und metallisch klingend abgemischt sind, kann der Klang eines so linearen und so klar spielenden Lautsprechers wie des CS-174 eventuell als zu hell empfunden werden. Mit einem der rückwärtigen Schalter im Anschlussfeld kann ein sanfterer Klang mit eher seidigen, statt vordergründigen Höhen erzielt werden. Mit dem zweiten Schalter kann eine Überhöhung des Bassbereiches bei wandnahe Aufstellung kompensiert werden.

Wie alle Nubert Lautsprecher besitzt der CS-174 eine Schutzschaltung, die alle Lautsprecher-Systeme sowie die Frequenzweiche bei drohender Überlastung abschaltet und sich danach selbständig wieder in den Normalbetrieb zurücksetzt.

### CENTERSPEAKER NULINE CS-44

Im Centerspeaker nuLine CS-44 sind alle Konstruktionsprinzipien des als Basis fungierenden Modells nuBox CS-413 übernommen und in allen Bereichen konstruktiv und klanglich weiterentwickelt worden. Durch die noch wesentlich aufwendigere Konstruktion, wie die bessere Membrantechnologie und die mehr als doppelt so schweren Magnetsysteme, ergibt sich noch bessere Sprachverständlichkeit und noch souveränere Impulsverarbeitung. Frei im Raum auf einem Stativ aufgestellt, kann sich der nuLine CS-44 sowohl messtechnisch als auch klanglich positiv absetzen. Das Klangbild kleinerer Boxen wird durch die unmittelbare Nähe von Gegenständen jedoch grundsätzlich stärker verändert, als es bei größeren Lautsprechern der Fall ist. Deshalb ist der Klangvorteil des CS-44 gegenüber dem CS-413 *dicht am Fernseher* nicht ganz so ausgeprägt wie bei freier Aufstellung.

Die wesentlich wertigere Verarbeitung und das zeitlos edle Design sind aber ebenfalls Gründe, sich näher mit diesem Centerlautsprecher der Extraklasse zu beschäftigen.

### CENTERSPEAKER NUBOX CS-413

Der Center nuBox CS-413 stellt eine Weiterentwicklung der Vorläufermodelle dar, die in Fachkreisen große Anerkennung gefunden hatten.

Ziel bei der Entwicklung dieses Centerspeakers war es, einen Mittenlautsprecher für Surround-Anwendungen zu schaffen, der sich bei sehr günstigem Preis klanglich und technisch mit den besten auf dem Markt befindlichen Center-Boxen messen kann.

Gegenüber der ebenfalls als Center einsetzbaren nuBox 313 sollte sich beim Modell CS-413 durch höhere Belastbarkeit und höheren Wirkungsgrad der Einsatz in großen Wohnräumen auch bei größeren Lautstärken anbieten.

Er beruht in der technischen Auslegung des Hochtöners, der Technologie der Tieftöner und der Kompensationstechnik innerhalb der Frequenzweiche auf unseren HiFi-Boxen mit Polypropylenmembranen. Das heißt, dass er (mit unerhört aufwendig konstruierter Frequenzweiche) frequenzgang- und impuls optimiert ist. Die makellosen Lautsprechersysteme und das massive, definiert gedämpfte Gehäuse tragen wesentlich zum erreichten Ergebnis bei.

Der Entwicklungsaufwand im Bassbereich war beim CS-413 gegenüber den früheren Modellen ungleich höher. Um einen noch höheren Wirkungsgrad im Bass erreichen zu können, wurde die konventionelle Dämpfung im Gehäuse reduziert und durch eine sehr aufwendige schaltungstechnische Dämpfung in der Weiche unterstützt. Das funktioniert so perfekt, dass die Box wesentlich größer klingt, ohne zu dröhnen.

Die hochwertigen, speziell für uns gefertigten Tieftöner erlauben eine Nennbelastbarkeit von 220 Watt.

**WANDLAUTSPRECHER NUBOX WS-103****WAND-/DECKENLAUTSPRECHER NUVERO 50,  
UND NULINE WS-14**

Das Besondere an der nuVero 50 und der nuLine WS-14 ist, dass die Klangveränderungen durch Wandnähe mit jeweils zwei umschaltbaren Frequenzweichen ausgeglichen werden.

Ein Lautsprecher klingt an einer Wand montiert deutlich anders als bei freier Aufstellung. Auch unsere Lautsprecher machen hier keine Ausnahme. Um diesen Effekt zu kompensieren und damit in beiden Positionen einen optimalen Klang zu erzielen, erhielten diese Wandlautsprecher für beide Betriebsvarianten eine entsprechende Abstimmung, die sich über einen Schalter auf dem Anschlussterminal auswählen lässt.

Um ein bassintensives Klangbild zu erzielen, empfiehlt sich die Kombination mit einem oder zwei guten Subwoofern.

Wenn keine sehr hohen Lautstärken gefordert werden, klingt die nuVero 50 (ohne Subwoofer) in Verbindung mit dem Aktiven Tuning Modul ATM-50 nuVero ähnlich massiv wie größere Regallautsprecher.

**DIPOLSPRECHER NUVERO 30**

Die nuVero 30 ist als Rearspeaker universell als Dipol- und Direktstrahler einsetzbar. Durch das neu entwickelte 15-cm-Langhubchassis sind die Bassfähigkeiten und die Pegelfestigkeit für so kleine Abmessungen absolut beeindruckend.

**DIPOLSPRECHER NULINE 24**

Die nuLine 24 ist das Nachfolgemodell der bisherigen nuLine DS-22. Mit der Einführung der nuVero-Familie haben wir 2008 unter anderem enorme Fortschritte in der Tiefbasswiedergabe erreichen können. Diese Technologie konnte dann auch in die neuen Modelle der nuLine-Serie übernommen werden. Der Gewinn in der Bassqualität ist bei der nuLine 24 jedoch besonders spektakulär! Die DS-22 war eine sehr hochwertige Rear-/Satellitenbox. Als kleine HiFi-Box war sie jedoch nur in der Verbindung mit dem Modul ATM-22 und nur bei relativ geringen Lautstärken geeignet. Das hat sich mit der nuLine 24 deutlich geändert!

Weil dieser Mini-Lautsprecher nun viel „größer“ klingt und damit eine „vollwertige“ HiFi-Box ist, haben wir die Bezeichnung „DS“ (Dipol-speaker) aus dem Produktnamen herausgenommen.

Die Abstrahlcharakteristik ist von *Dipol* auf *Direkt* umschaltbar und bildet damit auch die Basis für den Einsatz in hochwertigen Satelliten-Systemen. Gegenüber den Vorläufer-Modellen bringt das Magnetsystem noch bessere Dämpfungseigenschaften bei der Impulsverarbeitung.

Die sehr aufwendige Frequenzweiche mit ihren 16 Bauteilen hat neben ihrer eigentlichen Funktion zur Aufteilung der Signale für Hoch- und Tieftöner die Aufgabe, die Lautsprechersysteme im Frequenzgang und in der Impulsverarbeitung zu optimieren.

**DIPOLSPRECHER NUBOX 303**

Das Ziel bei der Entwicklung des Dipolrücklautsprechers nuBox 303 war es, einen kleinen, aber feinen Rearspeaker zu schaffen, der weiträumig klingt und keine „topfigen“ oder „nasalen“ Verfärbungen aufweist.

Was den Bassbereich angeht, konnten wir auf den Erfahrungen

aufbauen, die aus vielen Jahren Entwicklung hochwertiger Kleinboxen resultieren. Einige der Fortschritte der neuen Tieftönergeneration unserer nuVero- und nuLine-Lautsprechern konnten nun auch in der nuBox 303 verwirklicht werden.

Die Bassqualitäten und das Verhalten beim Verdauen heftiger Bassattacken sind für eine Box dieser Größe geradezu verblüffend – ebenso die Rundstrahleigenschaften.

Üblicherweise klingen Dipollautsprecher, die mit einem Tieftöner und zwei Hochtönern aufgebaut sind, bei weitem nicht so räumlich wie gute „Voll-Dipole“ mit zwei Tieftönern vorn und hinten. Die extrem tief liegende Übergangsfrequenz und das breite Abstrahlverhalten der speziellen 19er-Hochtöner ermöglichen bei der nuBox 303 aber eine hervorragende Räumlichkeit. Auch beim Umschalten der Charakteristik von „dipol“ auf „direkt“ bleibt der Frequenzgang perfekt linear.

**NUBOX WS-103 ALS REARSPREKER**

Durch die Fortschritte, die wir in den letzten Jahren im unteren Frequenzbereich erzielt haben, konnten wir das Gehäusevolumen, bei dem ein sauberer Übergang zu Subwoofern möglich ist, nochmals deutlich verkleinern. Der optimale Übergang von Satelliten-Lautsprechern zu Subwoofern liegt im „-6-dB-Punkt“ des Frequenzganges. Durch die neue Technologie des Tiefton-Lautsprechers im WS-103 konnten wir die Eckfrequenz von unter 100 Hz bei deutlich geringerem Nettovolumen erreichen. Die Bassqualitäten sind also merklich besser, als es bei Lautsprechern dieser Größe zu erwarten wäre und führen beim Einsatz als Rearspeaker zu einer sauberen Eingliederung in Surround-Sets.

**SUBWOOFER****Anforderungen**

Bei Subwoofern gibt es in der Qualität große Unterschiede. Oft klingen sie undifferenziert, brummelig oder dröhnend. Wenn Mehrkammerbandpassgehäuse eingesetzt werden, soll der dadurch entstehende Resonanzeffekt in einem kleinen Frequenzbereich den Wirkungsgrad anheben. Die Nebenwirkungen dieser „mechanischen Schwingkreise“ sind allerdings fatal: Sie ersticken jeden Rest von Präzision bei der Impulsverarbeitung im Keim. Statt Klangunterschieden zwischen Basstrommeln, Kontrabass und Orgelpedalen gibt es nur noch monoton brummelnden Einheitsbrei. Vor allem, wenn der Tieftonlautsprecher nicht direkt an die Luft angekoppelt ist, sondern nur durch ein Bassreflexrohr mit dem Raum „kommuniziert“, gibt es bei Verwendung eines einzelnen kleinen Subwoofers sehr ungleichmäßig verteilte Bässe im Raum (durch stark ausgeprägte stehende Wellen).

Wenn man einen *großen* – oder besser *zwei kleine* – Subwoofer einsetzt, wird die Raumverteilung schon wesentlich homogener. Eine große mechanische Ausdehnung der Tieftonquelle bringt gleichmäßigere Verteilung der Bässe und geringeres Anregen der Dröhnneigung des Raumes.

Mit zwei Subwoofern und definierter Aufstellung kommt man dann diesbezüglich in die Nähe der besten unter den sehr großen Standlautsprechern – und es ist damit bei der Raummöblierung immer noch etwas mehr Gestaltungsfreiheit möglich.

**Der ideale Subwoofer sollte also folgende Forderungen erfüllen:**

- Er sollte den Raum großflächig oder an mehreren Stellen beschallen, um stehende Wellen zu durchmischen und ihnen weniger Chancen zu bieten.
- Er sollte eine sehr niedrige untere Grenzfrequenz haben. Das ist jedoch bei vorgegebenem Volumen leichter mit kleineren(!) Membranflächen zu erreichen – dann reicht aber oft der Schalldruck bei tiefen Frequenzen nicht mehr aus!
- Er sollte einen hohen Schalldruck im Tiefbassbereich liefern können. Dazu muss die Membranfläche (oder die Auslenkung der Membranen) vergrößert werden. Eine Vergrößerung der Membranfläche erfordert aber für gleichen Schalldruck entweder eine proportionale Erhöhung des Gehäusevolumens oder eine drastisch höhere Verstärkerleistung.
- Er sollte wesentlich schneller ein- und ausschlagen und eine geringere Signaldurchlaufzeit haben, als es normalerweise der Fall ist. Häufig wird die Meinung vertreten, größere Lautsprecher-Chassis wären „langsamer“ als kleinere. – Die Präzision der Impulsverarbeitung im Bassbereich hängt jedoch fast ausschließlich von der Auslegung der Frequenzweiche ab. Durch die bei Subwoofern „steileren Flanken“ im Übernahmefrequenzbereich sind sie im Vergleich zu gut gemachten, großen Standboxen üblicherweise im Nachteil.

Bei vorgegebenen Abmessungen (oder vorgegebenem Preislimit) muss man sich normalerweise entweder für eine sehr tiefe Grenzfrequenz oder für den höchstmöglichen maximalen Schalldruck entscheiden. Alle Subwoofer aus unserem Lieferprogramm sind deshalb in der unteren Grenzfrequenz umschaltbar; sie setzen dann kompromisslos entweder auf extrem tiefe untere Grenzfrequenz oder auf sehr hohen Schallpegel bei extrem niedrigen Werten für Verzerrungen, Strömungsgeräuschen und Dröhnneigung.

**AKTIV-SUBWOOFER NUVERO AW-17, NULINE AW-1100 UND NUBOX AW-993**

Der AW-993 schafft bei merklich geringerem Chassis- und Gehäuseaufwand nicht ganz den enormen Tiefbasspegel des AW-17 oder des AW-1100, aber immerhin rekordverdächtige Werte. Er ist auch nicht ganz so „cool“ beim Verdauen von beispielsweise zehnfacher Übersteuerung, hat sonst aber vergleichbare Klangeigenschaften.

Die Bedeutung des Low-Cut-Schalters wird vielfach unterschätzt. Bei 20 Hz unterer Grenzfrequenz benötigt man (gegenüber 30 Hz) für gleichen Schalldruck *zwei* 33-cm-Tieftöner und es wird die doppelte Luftmenge bewegt.

Manche andere Subwoofer sehen messtechnisch zunächst auch fast so aus, als gingen sie bis 20 Hz hinunter. Zwischen 20 und 30 Hz sind die Strömungsgeräusche aber oft sehr hoch und die Klirrfaktoren liegen meistens oberhalb 80%. Deshalb werden dann bei Messungen des Frequenzgangs fast nur noch Oberwellen und Nebengeräusche registriert, was im Messergebnis einen sehr tiefreichenden Bass suggeriert. Wir haben uns nach langwierigen Hörtests dafür entschieden, die untere Grenzfrequenz nur dann in die Nähe von 20 Hz zu treiben, wenn diese Charakteristik auch umschaltbar ist.

Bei unseren Hörvergleichen waren natürlich auch riesige Laborprototypen-Subwoofer aus eigener Entwicklung und extrem teure Produkte anderer Hersteller dabei.

Manche der sehr teuren Mini-Woofer erreichten mit kleinen Membranflächen und großen Verstärkerleistungen Membranhöhe von über 50 mm. Die Modelle mit Passivmembranen hatten jedoch längst nicht so günstige Ergebnisse für Impulspräzision und Verzerrungsverhalten. Das Klangbild war im Vergleich undifferenzierter, brummelig und irgendwie lahm.

Manche der mittelgroßen Woofer hatten Leistungsangaben von fast 1000 Watt und wiesen bei nicht allzu tiefen Bässen einen ordentlichen Maximal-Pegel auf; allerdings bei eingeschränkter Sauberkeit und begleitet von heftigen Strömungsgeräuschen.

Was die Sauberkeit betrifft, spielen unsere großen Woofer AW-17, AW-1100 und AW-993 bei unseren Vergleichstests in einer ganz anderen Klasse. Die Abwesenheit von Dröhn- oder Strömungsgeräuschen ist geradezu frappierend. Die magnetisch kompensierten Langhub-Chassis des AW-17 und AW-1100 beherrschen zuverlässig Amplituden von fast 50 mm.

Damit wird eine Intensität im Tiefbass Realität, die in diesen Preisklassen sehr selten anzutreffen ist.

Die Gehäuse sind in einer Materialstärke von 25 mm gefertigt und mit strömungsoptimierten Innenversteifungen versehen, um mechanischen Schwingungen und Dröhngeräuschen vorzubeugen. Der Verstärker des AW-17 hat eine Ausgangsleistung von 440 Watt, was als Zahlenwert inzwischen nicht mehr besonders spektakulär erscheint. Durch die konstruktiven Maßnahmen und den riesigen Magneten des Lautsprechersystems ergibt sich gegenüber „normalen“ Chassis ein 2,5- bis 4-facher Wirkungsgrad und daher ein unverzerrter Pegel, der sonst auch mit 600 oder gar 800 Watt nicht so leicht zu erzielen ist!

Weil es oft ein mühseliges Unterfangen ist, einen Subwoofer im Pegel und im Gesamtfrequenzgang perfekt an die Hauptlautspre-

cher anzupassen, sind diese Nubert Woofer in allen Funktionen fernbedienbar.

### **KOMPAKT-SUBWOOFER**

#### **NULINE AW-600 UND NUBOX AW-443**

Diese Modelle sind die kleinsten uns bekannten, fernbedienbaren Aktiv-Subwoofer im Bereich von etwa 400 bis 600 Euro, die klanglich mit guten Fullsize-Woofern der Top-Preisklassen mithalten können.

Ihre Langhubsysteme schaffen locker einen für diese Chassis-Größe ungewöhnlichen Hub von 30(!) bzw. 25 mm und sorgen für beeindruckende Tiefbasswiedergabe. Das ist allerdings nur bis zu den Lautstärken möglich, die bei HiFi-Anwendungen in mittelgroßen Räumen maximal vorkommen. Im Surround-Bereich sind die Ansprüche an extreme Pegel aber schier grenzenlos.

Durch den Einsatz eines zusätzlichen zweiten Kompakt-Subwoofers profitiert nicht nur die Intensität der Tiefbasseffekte sondern auch die gleichmäßige Raumverteilung der Bässe.

### **KOMPAKT-SUBWOOFER NUPRO AW-350**

Der AW-350 ist mit seinen Korpusmaßen von 35 x 24 x 24 cm unser (bisher) kleinster Subwoofer. Für seine Größe schafft er wirklich massive Bässe - die untere Grenzfrequenz von 35 Hertz (-3 dB) ist in dieser Klasse rekordverdächtig.

Er verfügt über eine Fernbedienung für folgende Funktionen:

- Ein-/Ausschalten und Aktivieren der Standby-Automatik.
- Einstellung der Lautstärke.
- Einstellung der oberen Grenzfrequenz und der Phase.
- Auswahl der unteren Grenzfrequenz. (Mit schaltbarem Subsonic-Filter kann man zwischen einer möglichst tiefen Basswiedergabe bei leicht reduzierter Lautstärke oder etwas weniger Tiefgang bei maximaler Lautstärke wählen.)
- Aktivieren/Deaktivieren der Übersteuerungsschutzschaltung.
- Abspeichern/Aufrufen der Presets ermöglicht das Abspeichern aller Parameter zum schnellen Aufrufen unterschiedlicher Konfigurationen für Musik- oder Filmwiedergabe.

# Ausführliche Konstruktionsdetails der Nubert Boxen

## KONSTRUKTIONSDetails

Dieses Kapitel ist für technisch interessierte Musikliebhaber und HiFi-Fans gedacht, und baut auf den Beiträgen zur Entwicklung der Lautsprecherreihen nuBox, nuLine und nuVero auf.

Wir gehen dabei mehrfach auch auf die Entwicklungsgeschichte unserer Boxen ein, weil sonst einige Detaillösungen nur recht schwer nachvollziehbar wären.

Hier finden Sie auch Antworten auf die häufigsten Fragen, die uns von interessierten Kunden zur Technik unserer Boxen gestellt werden.

## TIEF/MITTELTÖNER NUBOX 683/483/383

Beim Basismodell dieser 22-cm-Polypropylenmembran-Tieftöner konnten zwei eher widersprüchliche Eigenschaften unter einen Hut gebracht werden: einerseits wurde dessen abstrahlende Fläche mit zunehmender Frequenz immer kleiner, was eine gute Abstrahlcharakteristik bis zur Übernahmefrequenz zum Hochtöner ermöglichte, andererseits war es weitgehend frei von Partialschwingungen, was sich unter anderem durch die Abwesenheit schmalbandiger Spitzen oder Einbrüche im Frequenzverlauf bemerkbar machte. Die Impulsverarbeitung war ausgezeichnet. Der Gesamtfrequenzgang ließ sich in den 80er Jahren mit aufwendigen Filtern in der Weiche allerdings nur so geradebiegen, dass sich dabei die Präzision des Impulsverhaltens wieder ein wenig reduzierte. Die erzielte Durchsichtigkeit im Klang konnte damals mit Aktivsystemen gerade noch hörbar gesteigert werden, war aber auch *passiv* schon so gut, dass sie mit keinem anderen uns bekannten, nach dem dynamischen Prinzip konstruierten Chassis zu erreichen war.

Dieser Tief/Mitteltöner wurde für unsere Designboxenfamilie Projekt nuForm in verschiedenen Ausführungen noch einmal gründlich überarbeitet und neben Frequenzgang und Verzerrungsverhalten auch sehr genau auf seine Impulsverarbeitung untersucht. Bei den Tests mit Sinuswellenpaketen (Ton-Bursts) zeigte er 1985/86 bei einzelnen Frequenzen überraschenderweise *so perfekte Ergebnisse*, wie sie damals für physikalisch unerreichbar galten. Man konnte sie vom elektrischen Eingangssignal kaum noch unterscheiden!

Diese Ergebnisse ragten also noch deutlich über die ohnehin schon sehr guten Normalwerte hinaus, die bei den meisten anderen Frequenzen erreichbar waren. Dass es diese einzelnen unglaublichen Burst-Diagramme gab, ließ uns dann nicht mehr in Ruhe!

Wir waren davon besessen, die Systematik dieser Vorgänge verstehen zu wollen und diese Präzision auf möglichst große Frequenzbereiche auszudehnen.

Im Laufe von 4 Jahren Entwicklungsarbeit gab es immer wieder kleine Fortschritte und herbe Rückschläge. Der eigentliche Durchbruch konnte bei den Prototypen dann in wenigen, sehr consequenten Schritten erzielt werden.

Üblicherweise wird zwar der größte Teil der Impulspräzision durch nicht richtig ausgelegte Weichen und durch Resonanzeffekte in den Gehäusen verschenkt. Aber auch, wenn man hier alles „richtig“ macht, kommt man in der Regel bei weitem nicht in die Nähe des elektrischen Eingangssignals.

Eine **derartig exakte Impulsverarbeitung** ist aus folgendem Grund normalerweise physikalisch unmöglich:

Lautsprechermembranen haben ständig mit *Verformungen* zu kämpfen, wenn sie unterschiedlichen Beschleunigungen ausgesetzt

sind. Wenn nach einem Signal schlagartig wieder „Ruhe“ herrschen soll, gibt es *praktisch immer* noch ungleichmäßig verteilte Bewegungen und Ausgleichsvorgänge auf der Membranoberfläche – und damit abgestrahlten Schall.

Wir haben viele Jahre lang versucht, das Problem mit *Gegenkopplung* in den Griff zu bekommen. Alle damals bekannten Verfahren zur Regelung der Membranbewegungen beruhten auf Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsaufnehmern, die zwar den Klirrfaktor (im eingeschwungenen Zustand) ein wenig reduzieren können, aber *beim Start* einer Step-Funktion (oder eines anderen Impulses) *kein Signal* liefern und deshalb die Ein- und Ausschwinggeschwindigkeit nicht verbessern.

Erst mit den aufwendigen Messaufnehmern und Regelkreisen für die jeweilige Position der Membrane wird eine echte Messung des Weges möglich (HF-Induktionsabtastung, Laser-Distanzsensoren oder reflektive optische Sensoren). Weil hier die Signale annähernd in Echtzeit gewonnen werden können, ist es damit möglich, die Gegenkopplungsschleifen so auszulegen, dass auch bei der Impulsverarbeitung gewisse Verbesserungen zu erzielen sind. In der Praxis wichtiger erscheint jedoch, dass mit dieser Technik die „Klirr- und Stülpeffekte“, die auf *Seite 53* beschrieben werden, wirkungsvoll verringert werden können.

Auch mit den besten Entwicklungen aller anderer untersuchten und optimierten High-End-Bauarten wie elektrostatischen oder magnetostatischen Systemen, (oder auch Schallwandlern mit Biegewellenmembranen) wurden keine annähernd vergleichbar guten Ergebnisse erreicht. Lediglich *ein* auf dem Markt befindliches – extrem teures – System konnte im Einschwingen einigermaßen mithalten, war jedoch bezüglich Ausschwingen, Frequenzgang, Wirkungsgrad und Belastbarkeit deutlich unterlegen!

Unser ungewöhnlich präzises Chassis lag schon seit 1990 als Labormuster vor und konnte ab 1994 für die damalige nuForm-Serie endlich innerhalb der geforderten Toleranzen in Serie gefertigt werden.

Im Sommer 1996 kam es als „Update 5“ – zusammen mit der extrem aufwendigen Weiche – auch in der damaligen nuBox 460 und in der 660 zum Einsatz.

Die sensationellen Testergebnisse des Jahres 1996 für die nuBoxen 360, 460 und 660 mit den Begriffen „unschlagbares Preis-Leistungs-Verhältnis“, „Überflieger“ und „Referenz“, begründeten wohl den Erfolg unseres im gleichen Jahr begonnenen bundesweiten Direktvertriebes.

In den folgenden Jahren wurde die Impulsbelastbarkeit dieses Chassis so weit erhöht, dass selbst bei Leistungen von über 400 Watt kein „mechanisches Durchschlagen“ mehr auftreten konnte. Dann folgte die Impulsoptimierung der neuen Membrangenerationen.

Später wurde die „Wirbelstrombremse“, mit der die Magnetsysteme der damaligen nuWave-Boxen ausgerüstet waren, auch in die Modelle nuBox 681, 481 und 381 übernommen. Dadurch konnten die Impulsgenauigkeit und die ohnehin schon sehr günstigen Verzerrungswerte im Bassbereich weiter verbessert werden.

Dieses Chassis verhält sich in der Impulsverarbeitung und im Frequenzgang bei allen Pegeln vom Milliwattbereich bis zu mehreren 100 Watt (beziehungsweise bis zur Grenze durch den linearen Hub) so consequent, dass es in diesen Punkten durch den Einsatz von Digitalen Signalprozessoren mit FIR-Filtern auf annähernd ideale Eigenschaften gebracht werden kann.

Allerdings wäre eine noch breitere Abstrahlcharakteristik oberhalb 1000 Hz wünschenswert, was beim gegebenen Membrandurchmesser aber kaum erreichbar ist.

### TIEFTÖNER NUBOX 313

Gut gemachte Polypropylenmembranen, die sehr sauber bis etwa 2 kHz hinaufreichen müssen, sind in Verbindung mit einer aufwendigen Weiche den meisten Carbonfiber-, Kevlargete- oder Metallmembranen überlegen. Wir haben in unserem Labor schon eine Vielzahl von Membranen aus interessanten Hightech-Werkstoffen hergestellt und auch viele Versuche mit Fremdfabrikaten dieser Bauart gemacht. Oberhalb 500 Hz brachten *alle* der von uns bis 2002 getesteten Gewebestrukturen (trotz der unbestrittenen Qualitäten des Basismaterials) *gravierende* Probleme durch Partialerschwingungen zum Vorschein. Dies äußerte sich vor allem durch schmale, aber ausgeprägte Welligkeiten im Mittenbereich und durch beeinträchtigte Impulsverarbeitung.

Die großen Entwicklungsanstrengungen, das „Aufbrechen“ des Frequenzganges von Kevlar- und Metallmembranen Schritt für Schritt in den Bereich oberhalb ca. 1,5 kHz zu verschieben, trugen jedoch langsam Früchte. Mit den Flachmembranmitteltönern der nuLine- und nuVero-Familien konnten wir tatsächlich in die Qualitätsbereiche vordringen, die viele Techniker für diese Membranen schon vor Jahren in Anspruch genommen haben.

### TIEFTÖNER BEI NULINE 284/264/84/34/24

Die Spitzenprodukte unter den kleineren Tief/Mitteltonlautsprechern sind Standardlautsprechern in vielen Punkten überlegen. Im Tiefbassbereich gab es bisher aber kaum Vorteile im Wirkungsgrad. Bei vorgegebener Gehäusegröße und Bass-Präzision konnte man bei Tief/Mitteltönern im Tiefbass also kaum „zaubern“. Umso erstaunlicher sind die Fortschritte, die vor einigen Jahren bei der Entwicklung der nuVero-Serie erzielt werden konnten. Die neueste Generation der nuLine-Tieftöner beruht auf den daraus resultierenden Erfahrungen und führt bei den Standboxen zu fast unglaublichem Tiefgang.

Aber auch die Kompaktlautsprecher profitieren deutlich von diesen Entwicklungen. Bei der nuLine 34 und 24 haben wir deutliche Verbesserungen bei der unteren Grenzfrequenz erreichen können, ohne den Gesamtwirkungsgrad nennenswert reduzieren zu müssen. Damit sind diese kleinen Boxen so makellos, wie es auch bei doppelt so teuren Lautsprechern nicht oft vorkommt.

### TIEF- UND MITTELTÖNER BEI NUVERO 140/110/70/30

Um bei gegebenem Gehäusevolumen die tiefstmögliche Basswiedergabe erreichen zu können, darf die Gesamtmembranfläche der Tieftonchassis nicht zu groß ausfallen. Bei gleichem Nettovolumen, gleichem Membrangewicht und gleicher Nachgiebigkeit der Membraneinspannung geht der Frequenzgang umso weniger tief in den „Basskeller“, je größer die Membranfläche ist. Weil bei der nuVero-Linie aber gleichzeitig sehr große Schalldrücke gefordert werden, musste die maximale Auslenkung der Membranen erhöht werden, um das „Verschiebevolumen“ (Membranfläche x Hub) – also die bewegte Luftmenge – so groß zu machen, dass größte Dynamikattacken unverzerrt wiedergegeben werden können.

Langhubchassis haben üblicherweise einen wesentlich geringeren Wirkungsgrad als vergleichbare Lautsprechersysteme mit kleinerem Hub. Diesen Effekt konnten wir mit Hilfe der groß dimensionierten Magnetsysteme und der Optimierung von magnetischem Fluss, Membrangewicht und MembranstEIFheit mildern.

Das ungewöhnlich gute Verhältnis von Gehäusevolumen, Tiefgang und Wirkungsgrad wurde bei den Standlautsprechern aber erst durch die Verbesserung des Akustischen Strahlungswiderstands möglich, der sich ergibt, wenn mehrere Lautsprechersysteme nahe beieinander betrieben werden. Bei *zwei* Chassis verdoppelt sich der Wirkungsgrad *jedes* dieser beiden Systeme. Bei drei oder vier Systemen nimmt der Wirkungsgrad weiter zu.

Um den geforderten großen Dynamikspielraum auch mit Verstärkern ohne exotische Ausgangsleistungen voll nutzen zu können, laufen bei der nuVero 140 im Tiefbass vier Chassis parallel, bei der nuVero 110 sind es drei.

Die dabei geforderten teils extremen Parameter der Basschassis konnten nur über ständige Optimierungsläufe bei Simulation und Messung erzielt werden. Als Ergebnis entstanden außergewöhnlich hoch belastbare 18- und 15-cm-Longstroke-Woofer, deren Sandwichmembranen (Glasfaser-Zellstoff-Glasfaser) im Extremfall über drei Zentimeter auslenken können.

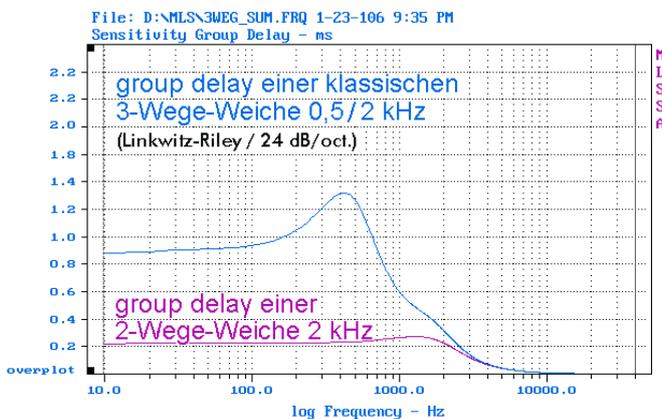
Die vier 18-cm-Treiber der nuVero 140 stellen eine Membrangesamtfläche zur Verfügung, die der eines 30-cm-Bass-Chassis entspricht. Weil der maximale Membranhub aber etwa doppelt so groß ist wie bei den Systemen, die üblicherweise in Standboxen eingesetzt werden, ist der maximale Schalldruck der nuVero 140 vergleichbar mit riesigen Standboxen, die mit *jeweils zwei* 30-cm-Tieftönern ausgerüstet sind. Dabei hat die nuVero 140 eine untere Grenzfrequenz von 25 Hz (-3 dB) und knackt somit die „magische“ 30-Hz-Marke, die bisher nur sehr guten Aktiv-Subwoofern vorbehalten war. Zudem verhindert die vertikale Ausdehnung dieser Chassisreihe besonders effektiv das Entstehen unangenehmer Raumresonanzen (Moden) zwischen Boden und Decke.

Bei der nuVero 110 ist die Membranfläche der drei Chassis mit einem 25-cm-System vergleichbar. Wegen des doppelten Membranhubs ist der erreichbare Maximalpegel also ähnlich groß wie bei sehr viel größeren Lautsprechern mit jeweils 2 Stück 25-cm-Chassis – und das bei einer unteren Grenzfrequenz von sensationellen 32 Hz (-3 dB)!

## MITTELTÖNER UND DIE INNOVATIVE DREI-WEGE-TECHNIK

Obwohl viele edle und teure Lautsprecher auf dem Drei-Wege-Prinzip basieren, ist diese Technik in der Fachwelt nicht unumstritten. Hier muss die Chance für gleichmäßigeres horizontales Abstrahlverhalten gegen Einfärbungen im Mittenbereich abgewogen werden, die durch hohe Laufzeiten typischer Drei-Wege-Weichen, durch ungenügend angepasste Filterflanken der Frequenzweiche und durch Wechselwirkungen mit den Chassis hervorgerufen werden.

Durch eine neue Entwicklung in der Weichentechnik (Beschreibung im Kapitel „Neue Analog- und IIR-Filter“) wurde es möglich, die Signalverzögerungen von Drei-Wege-Weichen so zu vermindern, dass sie von einer Gruppe sehr erfahrener Juroren hinsichtlich Mitteltonverfärbungen nicht mehr von Zwei-Wege-Weichen unterschieden werden konnte – die Vorteile im Rundstrahlverhalten waren jedoch deutlich hörbar.



Die ersten Versuche mit der neuen Weichenkonfiguration wurden mit einigen der besten Mitteltöner durchgeführt, die wir kannten. Das Weichenprinzip wurde in der Praxis bestätigt, aber jedes der eingesetzten Mitteltonchassis hatte noch ein „kleines Problemchen“, das nicht so einfach aus der Welt zu schaffen war. Die Lösung für die nuVero-Modelle zeichnete sich erst ab, als wir ein außergewöhnlich gutes Breitbandchassis als Basis für die Entwicklung des neuen Mitteltöners untersucht hatten; das damals *einzig* uns bekannte kleine *Breitband*-System, das von etwa 200 Hz bis weit in den Hochtonbereich keinerlei Störungen im Frequenzverlauf und im Klirrvverhalten aufweist.

Erst auf Basis einer neuen Antriebs- und Membran-Technologie wurde es möglich, diesen hervorragenden Mitteltöner nochmals zu übertreffen. Für die neueste nuVero-Generation wurde ein Mitteltöner mit noch kleinerem Membrandurchmesser entwickelt, der dem bisherigen Chassis in allen relevanten Punkten ebenbürtig, in zwei Eigenschaften sogar überlegen ist:

Er verbindet weiter verbessertes Rundstrahlverhalten mit noch höherer Belastbarkeit.

Der große Durchmesser der Frontplatte verhindert zusammen mit dem asymmetrischen Aufbau und der innen angeschrägten Ausfräsung der 30 mm starken Frontplatte eine Art „Hornverfärbung“ des nach innen (in das separate Mitteltönergehäuse) gestrahlten Schalls. Dadurch konnte diese Verfärbung gemildert und auf Frequenzen unterhalb des Übertragungsbereichs „verlegt“ und damit unhörbar gemacht werden.

## HOCHTONLAUTSPRECHER

Im Hochtonbereich der nuBox-Serie kommen, wie schon in unserem „nuBox-Entwicklungsblatt“ erwähnt, drei Varianten unserer 25-mm-Kalotten zum Einsatz, deren Übertragungsbereiche mit Hilfe der Weichen linearisiert werden. Im Interesse hoher Belastbarkeit, guter Zuverlässigkeit und besserer Dämpfung der Eigenresonanz werden zunehmend Hochtöner mit magnetisierbarem Ferrofluidöl im Luftspalt eingesetzt. Wir haben jedoch schon vor über 10 Jahren bei allen Ferrofluidhochtönern, mit denen wir je Hörtest gemacht haben, einen deutlichen Anstieg von *Breitbandklirrergeräuschen* festgestellt – egal, ob dieses Material serienmäßig in den Lautsprechern enthalten war, oder von uns nachgerüstet wurde. Mit den damals noch extrem teuren Spektrumanalysatoren kamen wir diesen Verzerrungen auf die Spur: konventionelle Klirrfaktormessungen berücksichtigen meist nur die zweite bis neunte Oberwelle und lassen einen *unharmonischen Klirr*, der sich *zwischen* den einzelnen Oberwellen befindet, nicht erkennen!

In den folgenden Jahren stellten wir fest, wie diese zunächst unerklärlichen Probleme entstehen, die vielen Messtechnikern völlig unbekannt sind: das magnetische Öl im Luftspalt schneidet der Luft, die unter der Membran bewegt wird, den Weg ab! Diese Luft, die sonst problemlos ihren Weg durch den Luftspalt des Magnetsystems finden würde, „quetscht“ sich dann unter Geräuschentwicklung durch die kleine *Nahtstelle* des Schwingspulenträgers! Um diese Strömung zu kanalisieren, konnten wir später mit durchbohrten Polkernen die Störungsgeräusche vermeiden, doch handelten wir uns dabei wieder ein neues Problem ein: Ärgerlicherweise haben gute Polkerne mit 15 bis 25 mm Dicke *gerade die* mechanischen Abmessungen, die sich auf das Ein- und Ausklingen im oberen Hochtonbereich am unangenehmsten auswirken! (Durch die Bohrung im Kern bildet sich sozusagen eine kleine offene „Orgelpfeife“, deren Eigenschwingungen durch Dämpfungsmaterialien nicht vollständig zu eliminieren sind.)

Bei jenen Lautsprechermodellen, deren Hochtönerschwingspulen mit magnetischem Ferrofluidöl gedämpft und gekühlt werden, konnten durch den Einsatz einer neuartigen „Vented Ferrofluid“-Technik alle diese Nachteile vermieden werden, indem die Luft durch sehr präzise Bohrungen im Schwingspulenträger abgeleitet wird.

In praktisch jedem Hörtest ist die weitaus größte Zahl der Juroren von den klaren Höhen und der Detailauflösung dieser Hochtöner begeistert! Ab und zu tritt aber der Wunsch nach einem noch etwas breiteren Abstrahlverhalten oberhalb 10 kHz auf, wie es bei Hochtonkalotten mit 19 mm Membrandurchmesser leichter erreichbar ist. Klanglich sind diese Hochtöner ausgezeichnet; Wirkungsgrad und Belastbarkeit reichen allerdings noch nicht für große Lautsprecherboxen aus.

## HOCHTÖNER IN DER NUVERO-SERIE

Es stellte eine enorme Herausforderung dar, für die erste nuVero-Linie einen Hochtöner zu entwickeln, der die 25er-Kalotten der nuBox- und nuLine-Serien noch übertreffen sollte. In den Bereichen Frequenzgang, Verzerrungsverhalten und Impulsverarbeitung standen sie bereits auf höchstem Niveau und haben in diesen Eigenschaften die Maßstäbe gesetzt.

Deshalb haben wir schon damals die höchste Priorität auf die Optimierung des Abstrahlverhaltens im Superhochtonbereich (oberhalb 10 kHz) gelegt. In Zusammenarbeit mit einem renommierten Nor-

wegischen Hersteller konnten wir all unsere Erfahrung einbringen und haben in fast dreijähriger Entwicklung unter anderem tatsächlich erreicht, die Bündelung zwischen 10 und 30 Grad Abstrahlwinkel gegenüber guten 25er-Kalotten zu verringern, wobei die Leistungsmerkmale in allen anderen Punkten erreicht oder übertroffen werden konnten! Seit 2011 haben wir zusammen mit einem dänischen Hersteller an einem Hochtöner gearbeitet, der 2014 die Serienreife erreicht hatte und nun noch etwas bessere Eigenschaften aufweist.

Auf „Schallverteilerblenden“ wollten wir dabei unbedingt verzichten. Alle von uns untersuchten Hochtöner mit partieller Abdeckung der Membrane und alle Musterexemplare mit Abdeckringen, die in ein Gitter vor der Membrane integriert waren, klangen nicht so frei und durchsichtig!

Obwohl dieses Konstruktionsprinzip weit verbreitet ist, stellte sich bei den Mustern ebenso wie bei allen getesteten Fremdfabrikaten heraus, dass damit die Abstrahlcharakteristik nicht „konsequent“ ist. Das bedeutet, dass die Rundstrahleigenschaften zum Beispiel von 10 bis 14 kHz schlechter und von 14 bis 18 kHz dann wieder besser werden.

Somit wird die Schallenergie über der Frequenz ungleichmäßig im Hörraum verteilt. Das hat unter anderem unnötig große Klangeigenschaften in unterschiedlich gedämpften Räumen zur Folge. Neben den verschiedenen Formen bei den Blenden und Abdeckringen arbeiten wir auch an unterschiedlichen Formen und Materialien für die Membranen selbst. Versuche mit Alu-, Titan-, Beryllium- und Kunststofffolienmembranen brachten zwar leichte Verbesserungen bei den Klirrwerten, aber wesentlich schlechtere Ergebnisse bei der Impulsverarbeitung, weil praktisch alle Metall- und alle harten Kunststoffmembranen mit großen Resonanzproblemen behaftet sind. Selbst mit höchstem Aufwand bei den Dämpfungsmaßnahmen weisen sie im oberen Frequenzbereich immer noch ein deutlich unpräziseres Impulsverhalten gegenüber guten Gewebekalotten auf. Dabei tröstet es auch nicht, dass die Resonanzfrequenzen von Metallkalotten oft oberhalb des eigentlichen Übertragungsbereiches angesiedelt sind: Diese Störungen werden über Interferenzen und Mischprodukte mit Nutzfrequenzen quasi in den Hörbereich „hineintransformiert“ und somit *doch* nachteilig hörbar. Bei impulsiver, obertonreicher Musik – beispielsweise dem Glockenspiel – nehmen erfahrene Hörer unterschiedlich ausgeprägte Differenzöne wahr, die von der Frequenz und der Intensität der Metallmembran-Resonanzen abhängen. Besonders deutlich erkennbar sind die Unterschiede bei Burst-Signalen, die gleichzeitig zwei hohe Töne zwischen etwa 7 und 12 kHz enthalten.

Gute Ergebnisse haben wir dagegen mit einigen weicheren Sandwichmembranen erzielen können, die wir früher auch bei unseren Kompaktboxen eingesetzt haben.

Auch miteinander verschweißte Styroporkügelchen zwischen dünnen Polypropylenfolien, schaumstoffartige oder Bienenwaben-Strukturen sowie Keramikverbundwerkstoffe (das bisher einzige „harte“ Material mit vielversprechenden Eigenschaften) zeigen gute Ergebnisse. Jedoch konnte keine dieser Bauformen, die darüber hinaus oft mechanisch sehr empfindlich sind, die besten Gewebekalotten nennenswert übertreffen!

## FREQUENZWEICHEN

Einen sehr großen Anteil an den Entwicklungsarbeiten für gute Lautsprecher nimmt die Entwicklung der Weiche ein.

Die Weichen unserer Lautsprecher trennen nicht nur die Frequenzbereiche des elektrischen Signals für die verschiedenen Lautsprecherchassis, sondern linearisieren darüber hinaus den Frequenz- und Phasengang der einzelnen Systeme – auch in Abhängigkeit von unterschiedlicher Gehäusegeometrie und Dämpfung.

Wesentlich schwieriger und langwieriger waren aber die schier endlosen Arbeiten zur Impulsoptimierung, die teilweise bei sehr hohen Lautstärken durchgeführt wurden. Das physiologisch ausgesprochen unangenehme Klangspektrum der Burst-Signale traktierte uns monatelang und verfolgte uns noch im Schlaf.

### Frequenzweichenminimalismus

Von manchen High-End-Fans, wird seit geraumer Zeit einem „Weichen-Minimalismus“ gehuldigt. Mit großem Eifer wird die physikalisch bedenkliche Meinung vertreten, dass jedes Bauteil einer Frequenzweiche zwangsläufig die Klangqualität einer Lautsprecherbox negativ beeinflussen muss. Mit diesem Argument könnte man auch versuchen, einen hochwertigen Verstärker dadurch zu verbessern, dass man die Zahl seiner Bauteile auf den Verstärkerteil eines Sechs-Transistor-Radios reduziert!

Natürlich sind unsinnig eingesetzte (oder minderwertige) Bauelemente für den Klang schädlich; aber mit den einfachen (und billigen) 6-dB-Weichen, die oft nur aus *einem* Bauteil für jedes Lautsprechersystem bestehen, kann man weder phasenoptimierte Linkwitz-Riley-Filter verwirklichen, noch die Tendenz von Lautsprecherchassis unterdrücken, langsam und unkontrolliert auszu-schwingen.

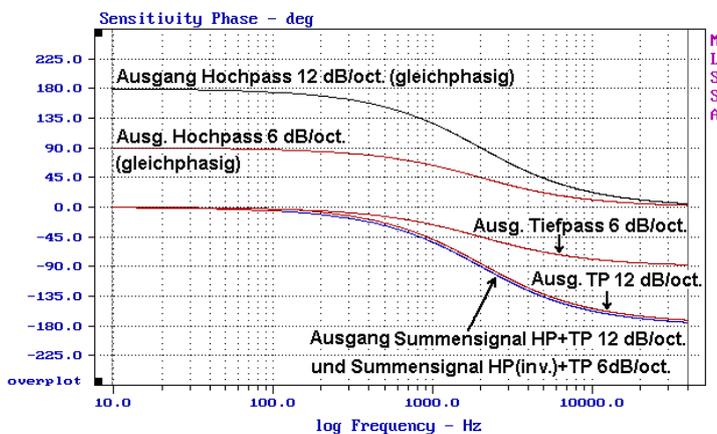
Hochwertige, richtig eingesetzte Frequenzweichenbauteile sind in ihren Eigenschaften annähernd ideal. Ihre „Nebenwirkungen“ (etwa Verzerrungen) sind gegenüber den besten Lautsprechersystemen etwa um den Faktor 100 bis 1000 kleiner, können also praktisch vernachlässigt werden.

Neben der Angst vor Klangverschlechterung durch Kondensatoren, Induktivitäten und sogar Widerständen gibt es oft auch die Ansicht, 6-dB-Weichen brächten für den Lautsprecher ein besseres Phasenverhalten und geringere Gruppenlaufzeiten als gute 12-dB-Weichen. Es gibt tatsächlich Sonderfälle in denen eine flache Ankopplung sehr sinnvoll sein kann – zum Beispiel bei der Anpassung von Tiefton-Systemen an die Tief/Mitteltöner in Standlautsprechern – aber bei den „6-dB-Fans“ geht es meist um die Frequenztrennung zwischen Tief- und Hochtonsystemen.

Eigentlich ist die Diskussion über dieses Thema ohnehin recht unnötig, denn unter Akustikern und Toningenieuren besteht weitgehend Einvernehmen darüber, dass Phasendrehungen und group delay von klassischen Weichen bis mindestens 24 dB/oct. bei Frequenzen oberhalb 1 bis 1,5 kHz nicht hörbar sind. Wenn man die Dämpfungseigenschaften und die Wechselwirkungen mit den Chassis unter Kontrolle hat, wären Phase und group delay bei der 2-kHz-Ankopplung eines Hochtöners für den Klang zunächst unwichtig. Flach angekoppelte Hochton-Lautsprecher haben jedoch ein wesentlich ungünstigeres Verzerrungsverhalten und es gibt wesentlich größere Interferenzen (Kammfiltereffekte) zwischen den Chassis.

Aktive 6-dB-Weichen, bei denen der Tief- und Hochtonkanal gleichphasig gepolt sind, haben im Summensignal tatsächlich keine Phasendrehungen. Die Lautsprechersysteme selbst drehen die Phase jedoch beträchtlich – und zwar so stark, dass man bei der Auslegung von 6-dB-Passiv-Boxen den Hochtöner praktisch immer verpolt anschließen muss, wenn man Einbrüche im Frequenzgang vermeiden möchte. Durch diese Verpolung verliert man aber das eigentlich angestrebte Ziel, eine geringe Signaldurchlaufzeit zu erreichen!

Nicht jedem Entwicklungsingenieur und HiFi-Fan ist bewusst, dass eine „verpolte“ 6-dB-Weiche *genau die gleichen* Phasendrehungen und die gleichen Gruppenlaufzeiten hat wie eine doppelt so steile 12-dB-Weiche! Man handelt sich damit also die bereits erwähnten Nachteile ein, ohne die angestrebten Vorteile zu erreichen.



Dass manche dieser minimalistisch aufgebauten Lautsprecher ab und zu gute Testergebnisse erzielen, muss den technisch interessierten Musikliebhaber natürlich verunsichern! Möglicherweise gibt es Lautsprecher, die recht gut klingen können, *obwohl* sie 6-dB-Weichen haben, aber nicht *weil* sie damit aufgebaut sind.

### Frequenzweichen nuBox 303 und 313

Schon die kleinsten nuBoxen weisen jeweils zwei Entzerrungs- und Dämpfungsglieder zusätzlich zu den typischen 12-dB-Weichen auf, über welche die meisten Qualitätsboxen verfügen. Sie machen diese Lautsprecher zu Geheimtipps für kleinere und mittlere Räume. Mit den hervorragenden Lautsprecherchassis und 15 Bauteilen in der Frequenzweiche konnte ein vorbildliches Verhalten erzielt werden, das sich klanglich vor keiner um ein Mehrfaches teureren Edelbox dieser Größenklassen verstecken muss.

### Frequenzweichen nuBox 383/483

Obwohl der mehr als dreimal so hohe Bauteileaufwand einer nuBox-383-Weiche gegenüber typischen Boxen der 500-Euro-Preisklasse (pro Paar) nicht leicht unterzubringen ist, werden bei den Modellen 383 und 483 im Mitten- und Hochtonbereich hochwertige Kunststofffolienkondensatoren eingesetzt, die gegenüber den üblicherweise verwendeten Elektrolytkondensatoren ein Mehrfaches kosten! Die Dämpfungseigenschaften dieser Weichen in Bezug auf die Hochtönerresonanz sind im Kapitel „Messtechnik/Messvergleich“ unter der Überschrift „Ausschwingverhalten unterschiedlich aufwendiger Hochtönerweichen“ dargestellt (Seite 66).

### Frequenzweichen nuBox 513/683

Die Frequenzweichen dieser Lautsprecher sind nicht nur auf saubere Frequenzgänge und überragende Impulspräzision, sondern auch auf eine gleichmäßigere Abstrahlung des höheren Bass- und unteren Mittenbereichs in Wohnräumen ausgelegt, als es sonst mit Standlautsprechern dieser Größe üblich ist. Es erforderte viele Evolutionsstufen, den günstigsten Frequenz- und Phasengang über einen größeren vertikalen Winkelbereich zu ermöglichen. Damit ist es für diese Eigenschaft nicht erforderlich, die Boxen auf Sockel zu stellen oder nach hinten zu neigen.

Ab etwa 2 m Hörabstand ist der Bereich für strengste Linearität ( $\pm 1,5$  dB) auch ohne Neigung der Boxen in Ohrhöhe, ohne die sonstigen positiven Eigenschaften einzuschränken. Mit dem Hochtonschalter kann die Höhenwiedergabe in drei Stufen variiert werden. Darüber hinaus verfügt die 683 über eine Umschaltbarkeit des Bassfundaments.

Der nochmals verbesserte Übergang zwischen Tief/Mitteltöner und Hochtöner trieb den Aufwand der Frequenzweichen weiter in die Höhe. Jede Lautsprechersystemgruppe hat ihre eigene Frequenzweichenplatine (Foto der Weiche auf Seite 46).

### Auswirkung der Weichenauslegung auf die Mitten- und Basswiedergabe

Die Klang- und Abstrahleigenschaften eines Lautsprechers hängen unter anderem stark von der Membrangröße und dem jeweils zugehörigen Frequenzbereich ab. Bei tiefen Frequenzen ist die Länge der Schallwellen (z. B. 3,43 m bei 100 Hz) deutlich größer als der Membrandurchmesser typischer Lautsprecher. Dann wird der Schall nahezu kugelförmig abgestrahlt. In der Nähe der Übergangsfrequenz zum Hochtöner beträgt die Wellenlänge beispielsweise etwa 17 cm (bei 2 kHz). Wenn zwei größere Basslautsprecher bis zu dieser Frequenz parallel laufen, ist die vertikale Ausdehnung des Strahlers weit größer als die Wellenlänge und bündelt den Schall stark. Oberhalb der Übernahmefrequenz geht die Ausdehnung des Strahlers auf den Durchmesser der Hochtonekalotte zurück. Dadurch gibt es dann einen ausgeprägten Sprung bei den vertikalen Abstrahleigenschaften.

Dieses Prinzip wird zwar oft – zum Beispiel in Form der sogenannten *D'Appolito-Anordnung* – eingesetzt, die klanglichen Auswirkungen sind aber von der Größe und von den Abständen der Mitteltöner abhängig und bei Chassis über etwa 18 cm Durchmesser umstritten.

Grundsätzlich treten in allen Wohnräumen ausgeprägte Lautstärkeeinbrüche und Spitzen bei unterschiedlichen Frequenzen auf, die überwiegend durch Wand-, Boden- und Deckenreflexionen hervorgerufen werden. Die tieffrequenten Störungen unter 100 Hz sind zum Beispiel durch eine doppelte Basslautsprecheranordnung (DBA) oder durch raumakustische Maßnahmen ganz gut in Griff zu bekommen. Den Bereich zwischen 100 und etwa 500 Hz kann man damit aber kaum zähmen, ohne das akustische Klima des Raumes negativ zu beeinflussen.

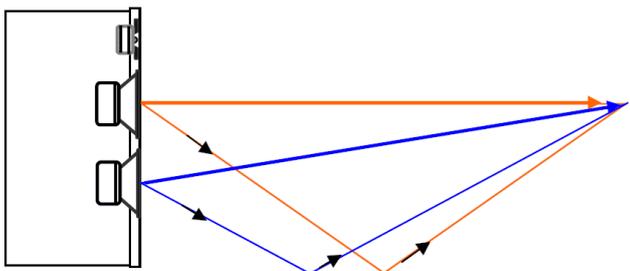
Wenn man nichts dagegen unternimmt, schwankt der Schalldruck in typischen Räumen und Hörabständen in diesem Frequenzbereich mehrmals zwischen weniger als 10% und etwa 200% des Sollwertes.

Diese Störungen können reduziert werden, wenn man für diesen Bereich eine größere Ausdehnung der Schallquelle vorsieht. Das steilflankige Abtrennen des integrierten Sub-Tieftöners innerhalb eines größeren Standlautsprechers untergräbt diese Möglichkeit.

Bei Standboxen mit mehreren Tieftönern werden meistens alle bis auf einen zwischen 70 und 150 Hz steiflankig abgetrennt (oft mit über 12 dB pro Oktave). Durch die steiflankige Auslegung wird die Ausdehnung der Strahler zwischen 100 und 500 Hz kleiner und man verschenkt eine Chance, die sich bei großen Boxen mit zwei oder mehr Tieftönern gegenüber Lautsprechern mit nur einem Basschassis anbietet:

Wenn man den einen Tieftonlautsprecher einer größeren Box nicht ganz so steil abtrennt, hat man noch genügend Schallpegel bei jenen Frequenzen, bei denen in Hörposition Auslöschungen und Anhebungen etwa durch Bodenreflexionen auftreten, um damit die Einbrüche aufzufüllen, die der Fußboden beim jeweils anderen Tieftöner erzeugt.

(Weil die Bodenabstände der Tieftonlautsprechersysteme unterschiedlich sind, hat das reflektierte Signal für jedes der beiden Chassis einen unterschiedlich langen Weg zum Hörer. Somit treten die Probleme durch Phasenauslöschungen für jedes der beiden Systeme bei jeweils unterschiedlichen Frequenzen auf und können sich deshalb „ausmitteln“.)



Die Signalverzögerungszeiten steiflankiger Filter sind im Übergangsbereich zwischen Mittel- und Hochtöner (oberhalb 1,5 kHz) zwar nahezu unhörbar – wohl aber bei Frequenzen unterhalb etwa 1000 Hz. Auch deshalb kam eine steile Abtrennung des unteren Basslautsprechers für diese Lautsprecher nicht in Frage.

Im Tieftonbereich würde die grundsätzliche Verschlechterung der Impulsverarbeitung ansonsten zu klanglich deutlichen Unterschieden führen.

### Lösungsansatz im Bassbereich dieser Standboxen

Bei diesen Lautsprechern laufen Tief/Mitteltöner und „integrierte Subwoofer“ im Tiefbassbereich parallel. Darüber fällt der Schalldruck des Sub-Tieftöners relativ flach ab (mit einer Flankensteilheit von zunächst etwa 6 dB/oct.) und extremer Phasentreue in Bezug auf den Tief/Mitteltöner. Die erwähnte flach abfallende Charakteristik hat gleichzeitig Vorteile beim Impulsverhalten. Bei höheren Frequenzen geht der Verlauf in 12 dB/oct. über.

Der abfallende Frequenzgang der Tieftöner wird im *Tief/Mitteltontkanal* so kompensiert, dass der resultierende Schalldruck aus der Summe *aller* Chassis die gewünschten Eigenschaften zeigt: sehr strenge Linearität zwischen Hoch- und Mitteltönerachse (typischerweise besser als  $\pm 1,5$  dB von 200 bis 15.000 Hz) – und eine sehr gleichmäßige Energieverteilung im Raum.

Durch einen etwas unterschiedlichen Neigungswinkel der Boxen kann man eine Spur mehr oder weniger Prägnanz in den Mitten einstellen, ohne den typischen nasalen Verfärbungen ausgesetzt zu sein, die durch eine Mittenbeeinflussung von Equalizern hervorgerufen wird. Mit Bassschalterstellung „oben“ kann man bei der nuBox 683 eine leichte Bassanhebung erzielen, die das Klangbild voller und wärmer macht.

Durch aufwendige Dämpfungs- und Versteifungsmaßnahmen des Gehäuses wurden ausgezeichnete Ergebnisse bezüglich Dröhnfreiheit erzielt; aber eine Box mit einem massiven Bassfundament regt Räume natürlich stärker zu Eigenschwingungen an, als es mit einer schlankeren Abstimmung der Fall ist. Deshalb sollten unsere Aufstellhinweise beachtet werden, die den Boxen beiliegen.

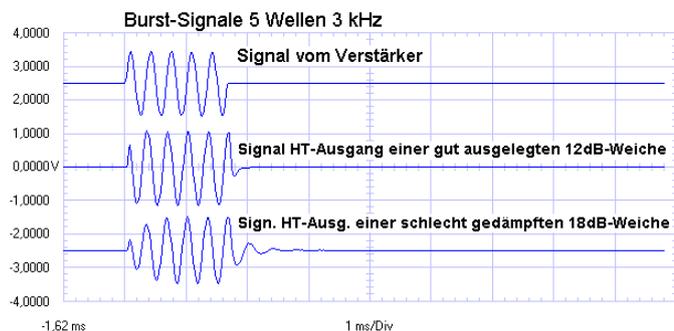
In der unteren Schalterstellung ist der Bassbereich sehr linear. Darüber hinaus bekommt man eine weitere Verbesserung der Straffheit im Tiefbass und eine fast perfekte Impedanzlinearität im gesamten Bassbereich.

### Lösungsansatz im Hochtobereich

Bei großen, hochbelastbaren Lautsprecherboxen werden häufig sehr steiflankige Weichen eingesetzt, um den Hochtöner thermisch in den Griff zu bekommen. Weil die einzelnen Filterstufen bei diesen klassischen 18-dB- oder 24-dB-Weichen nicht durch Trennverstärker voneinander entkoppelt sind, gibt es Wechselwirkungen mit den Lautsprecher-Systemen, die das Ein- und Ausschwingen in der Nähe der Übergangsfrequenz (meistens zwischen 2,5 und 4,5 kHz) dramatisch verschlechtern können.

Sie erzeugen bei einem Burst-Signal ein deutlich langsames Ein- und Ausschwingen, was sich unangenehm durch eine metallische Einfärbung im Klangbild bemerkbar macht.

Im Gegensatz dazu setzen wir gedämpfte 12-dB-Weichen ein, die eine wesentlich exaktere Impulsverarbeitung liefern.



Gedämpfte Parallelschaltkreise zum Hochtöner führen dann zu höheren Filtersteilheiten, verschlechtern aber das Ein- und Ausschwingen nicht und schützen den Hochtöner vor den Belastungen, die sonst (durch die flachere Filtersteilheit einer 12-dB-Weiche) unterhalb des Einsatzbereiches auftreten würden.

Außerdem kann man mit diesen Parallelkreisen den gewünschten vertikalen Winkel zur Phasen Anpassung an den Tief/Mitteltöner einstellen.

Als Übergangsfrequenz wurde 2 kHz gewählt, denn bis zu dieser Frequenz ist das Einschwingen des Tief/Mitteltontchassis praktisch perfekt, während der Hochtöner die erste Halbwelle eines Sinusburst um ca. 3 bis 4 dB dämpft. (Im Impulsverhalten ist das TT/MT-System dem Hochtöner deutlich überlegen – beim Frequenzgang ist es umgekehrt. Für das vertikale Abstrahlverhalten ist eine niedrige Übernahmefrequenz günstiger, für das Klirrverhalten ungünstiger.)

Die Wellenlängen des abgestrahlten Schalls sind bei 2 kHz (mit knapp über 17 cm) noch groß genug, um einen in der Praxis ausreichenden vertikalen Abstrahlwinkelbereich ohne Phasenauslöschungen zwischen Mittel- und Hochtöner zu ermöglichen. Im Bereich von vertikal etwa  $\pm 10$  Grad gibt es keine größeren Frequenzgangeinbrüche.

Obwohl die Unterschiede gering sind, kann der Klang der kleineren Standlautsprecher noch gewinnen, wenn sie (etwa mit Hilfe von höhenverstellbaren Spikes) leicht nach hinten geneigt werden.

### Bauteilequalität und Auswirkungen auf den Klang

Es wurde Wert darauf gelegt, die Weiche an allen sinnvollen Punkten ohne den Einsatz von Elektrolytkondensatoren aufzubauen. Die verwendeten Kunststofffolienkondensatoren sind zwar mehr als viermal so teuer, haben aber bessere elektrische Eigenschaften und perfekte Langzeitstabilität. Lediglich im Subbasszweig kommen zwei Elkos zum Einsatz, da deren spezifische Probleme gegenüber hochwertigen Folienkondensatoren (alterungsabhängiger Längswiderstand, ungünstigerer Verlustwinkel und leichte alters- und temperaturabhängige Kapazitätsveränderung) sich in diesen Anwendungen weder hör- noch messbar auswirken. Der Preisunterschied würde jedoch wegen der sehr hohen Kapazitätswerte weit über 50 Euro pro Box ausmachen!

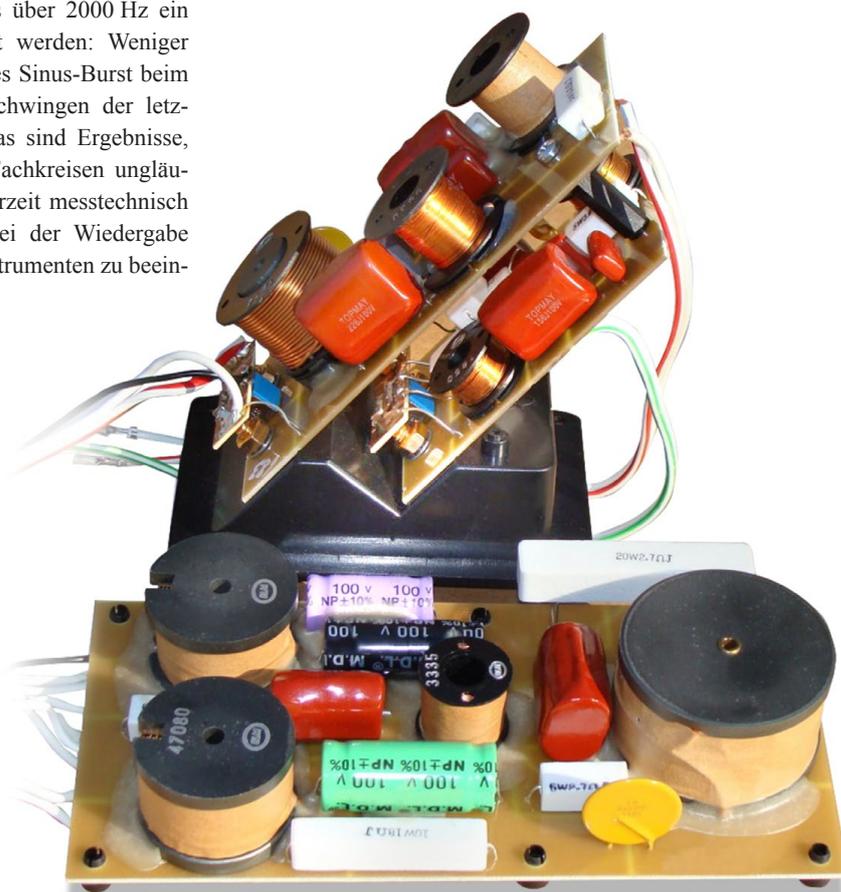
Bei der absolut kompromisslosen nuVero 140 werden sogar diese Funktionen von Folienkondensatoren übernommen!

Die speziellen Kernspulen in den Weichen kommen auch bei Verstärkerleistungen von deutlich über 300 Watt nicht in Sättigung und verbinden das mit geringsten Verlusten und extrem geringen Verzerrungen (weniger als 0,05% Klirrfaktor im Tief/Mitteltonkanal bei 250 Watt im gesamten Frequenzbereich). Luftspulen (also Kupferspulen ohne Kern) mit ähnlich geringem Innenwiderstand wären wirtschaftlich nicht sinnvoll realisierbar, hätten mehr als das zehnfache Gewicht und brächten keine wahrnehmbaren Vorteile.

Durch gezielten Einsatz der bereits erwähnten Kompensationschaltungen und Dämpfungsglieder konnte für unsere speziellen Tief/Mitteltöner im Bereich von ca. 300 bis über 2000 Hz ein praktisch perfektes Impulsverhalten erreicht werden: Weniger als 10% Dämpfung der ersten Halbwelle eines Sinus-Burst beim Einschwingen und weniger als 10% Überschwingen der letzten Halbwelle gegenüber dem Idealwert! Das sind Ergebnisse, die deutlich besser als üblich sind und in Fachkreisen ungläubiges Staunen auslösen. Sie sind jedoch jederzeit messtechnisch demonstrierbar und führen zum Beispiel bei der Wiedergabe angezupfter Gitarrensaiten oder von Schlaginstrumenten zu beeindruckender Lebendigkeit!

### Frequenzweiche nuBox 683

Getrennte Leiterplatten für Tief/Mitteltöner, Hochtöner und Tieftöner.



# Klangoptimierung mit Aktiven Tuning Modulen (ATM)

am Beispiel des Aktiven Tuning Moduls ATM-513 für die nuBox 513

## WIRKUNGSWEISE DES MODULS

Bei Lautsprecherboxen muss man üblicherweise einen Kompromiss zwischen Gesamtwirkungsgrad, maximal erreichbarer Lautstärke und Tiefe der Bässe eingehen. Die nuBox 513 erreicht bereits ohne ATM-Modul ein exzellentes Klangbild mit weit überdurchschnittlich guter Basswiedergabe.

Das ATM-Modul erweitert ihre untere Grenzfrequenz von 36 auf 29 Hz hinunter (-3-dB-Punkt). Das ist eine Bassverbreiterung, für die das Gehäusevolumen ohne ATM deutlich vergrößert werden müsste. Dies wird dadurch erreicht, dass dem Verstärker im Bereich unterhalb 70 Hz exakt der spiegelbildliche Frequenzgang des Lautsprechers zugeführt wird.

Relativ kleine (oder schlanke) Lautsprecher haben bei Tiefbass-linearisierung als einzigen Nachteil einen höheren Leistungsbedarf im Bereich zwischen etwa 30 und 60 Hz. Mit genügend kräftigen Verstärkern kann man aber (bis zu relativ hohen Lautstärken) die klanglich besten und deutlich größere Lautsprecher im Tiefbass erreichen, ohne bei der Präzision die geringsten Kompromisse eingehen zu müssen. Im höheren Bassbereich kann man mit kleinen Gehäusen sogar mit weniger Aufwand Spitzenergebnisse erreichen, weil die kleineren Gehäuseflächen weniger Eigenleben entwickeln. Die Wände der nuBox 513 sind zusätzlich versteift, die Tieftöner bleiben auch bei extremen Bassimpulsen „gehörmäßig“ sauber. Dadurch ist das Modul in der Lage, aus dieser schlanken Box bis zu recht hohen Lautstärken sehr präzise Bässe herauszuholen. Das ist allerdings nur bei optimaler Auslegung der Linearisierungsschaltungen möglich – dann kann man im Ein- und Ausschwingverhalten alle parasitären Effekte kompensieren, die üblicherweise bei Subwoofern hingenommen werden müssen.

Unterhalb 25 Hz wird der Pegel mit zusätzlichen Filtern 4. Ordnung (24 dB/Oktave) abgesenkt. Diese „Rumpelfilter“ sind so ausgelegt, dass die Impulsverarbeitung im Bassbereich nicht hörbar beeinträchtigt wird.

**Welches ATM-Modul gehört zu welcher Nubert Box?  
Unser gesamtes ATM-Angebot und alle Informationen  
darüber finden Sie auf unserer Webseite [www.nubert.de](http://www.nubert.de)**

Da auch ältere Nubert Lautsprecher vom Klangtuning durch ATM-Module profitieren, bieten wir ATM-Module auch für unsere früheren bzw. nicht mehr lieferbaren Boxenmodelle an, die sich dadurch im Leistungsumfang und in der Bassperformance deutlich aufwerten lassen. Man benötigt ein Aktives Tuning Modul für ein Boxenpaar.

ATM-Module sind für die Erweiterung des Klangspektrums von HiFi-Stereo-Kombinationen entwickelt worden. Beim Einsatz von AV-Receivern empfehlen wir unsere bewährten Subwoofer. Nur an sehr wenigen Heimkino-Receiver kann ein ATM-Modul unmittelbar angeschlossen werden. Für weitere Fragen hierzu wenden Sie sich bitte an unsere Hotline!



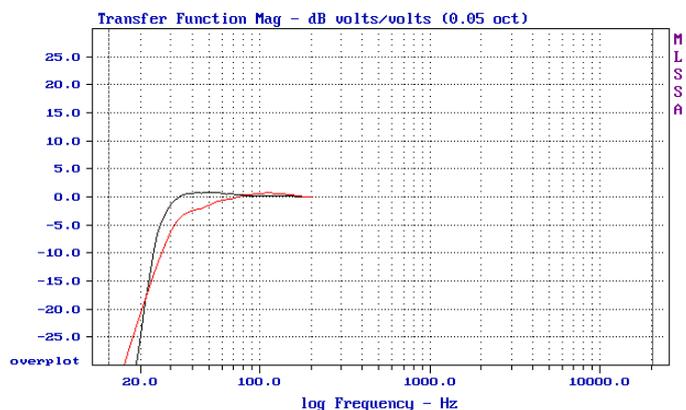
## KLANGLICHE AUSWIRKUNGEN

Bei Blindhörtests (bei denen nicht bekannt war, welche Lautsprecher und welche Elektronik eingesetzt wurden) schätzten die erfahrenen Jury-Mitglieder die nuBox 513 in Kombination mit dem ATM-513 als *große Standboxen* (nuBox-683 Größe) ein, solange im Musik-Material keine extremen Bassimpulse bei sehr großen Lautstärken enthalten waren.

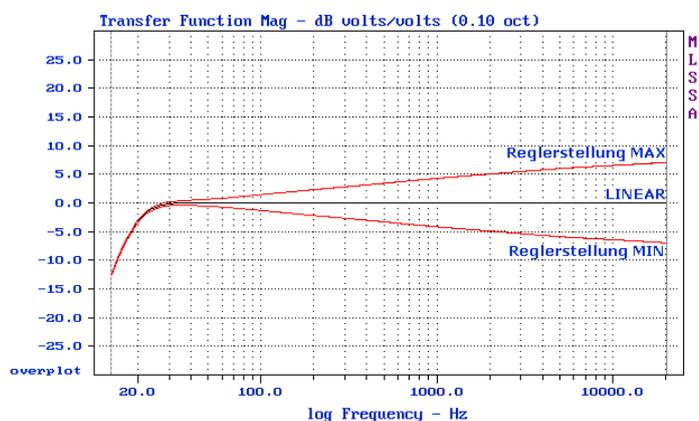
Immer wieder erstaunlich – aber absolut reproduzierbar – ist außerdem die eindeutige Verbesserung des Räumlichkeitseindrucks, obwohl man als Techniker geneigt ist, keine Querverbindung von Räumlichkeitseindruck und Tiefbasswiedergabe zuzulassen.

**Die Erweiterung der Wiedergabe bis in die untersten Frequenzbereiche tritt klanglich umso stärker in Erscheinung, je mehr Tiefbass in den entsprechenden Musikaufnahmen enthalten ist.** In der „Musikalität“ und der Bassimpulspräzision ist die nuBox 513/ATM-Kombi auch guten Subwoofer-Systemen merklich überlegen.

Erst bei gewaltigen Lautstärken oder in sehr großen Räumen sind wesentlich größere Standlautsprecher deutlich im Vorteil. Darüber hinaus können mit ihnen schwierige akustische Eigenheiten des Wohnraums besser umgangen werden, als es mit kleineren Boxen möglich ist.



Bassfrequenzgang nuBox 513 mit und ohne ATM-513



Frequenzgang ATM-513 mit BASS/EQ-Regler bei ca. „11 Uhr“ (also kurz vor BASS/EQ „LINEAR“), MID/HIGH-Regler 3 Positionen MAX, LINEAR, MIN

**WIRKUNGSWEISE DES EQ-REGLERS**

Die messtechnisch optimale Einstellung des EQ-Reglers ist die Stellung LINEAR (Mitte). Bei den Hörtests wurde aber oft auch der Bereich bis „14 Uhr“ bevorzugt.

Wenn man *doch einmal* sehr hohe Lautstärken erzielen will (besagte „Silversterparties“), kann man den Drehknopf *nach links* drehen. Dann ist die Bass-Erweiterung deaktiviert, die Absenkung der Signale unterhalb etwa 30 Hz bleibt jedoch erhalten. Damit werden dann alle Leistungsreserven des Verstärkers zum Erzielen großer Schallpegel mobilisiert, die nuBox 513 benötigt für gleiche Lautstärke dann sogar geringfügig *weniger* Leistung als bei Betrieb ohne Modul.

**EQ-Reglerstellung zwischen LINEAR und MAX**

Bei kleinen Lautstärken klingen sogar *sehr große* Lautsprecher meistens ziemlich „dünn“. Leider sind bei Verstärkern die Loudness-Tasten, die früher (bis ca. 1990) für ein volles Klangbild bei kleinen Lautstärken gesorgt haben, inzwischen aus der Mode gekommen. Als Ersatz dafür hat das Modul den Einstellbereich „rechts der Mitte“, der am rechten Anschlag zusätzlich zur Linearisierung des Tiefbasses noch fast 10 dB „draufpackt“.

Bei sehr kleinen Lautstärken kann man damit ein wesentlich schöneres und voluminöseres Klangbild erreichen, als es durch das Aufdrehen des Bassreglers an üblichen Verstärkern möglich ist.

**MID/HIGH-Regler**

Dieser neu entwickelte Höhenregler ist der Traum jener HiFi-Fans, die ein sanfteres Klangbild bevorzugen. Er hat in Stellung LINEAR keine Funktion. Beim Drehen nach links kann je nach Hörgeschmack und Raumakustik ein gleichmäßig zu den Höhen abfallender Frequenzgang eingestellt werden. Wenn die nuBox 513 in akustisch „harten“ Räumen aufgestellt ist, oder die Musik-Aufnahme zu hell abgemischt ist, wirkt dieser Regler auf den Klang angenehmer als übliche Höhenregler an Verstärkern.

In Stellung „10 Uhr“ beträgt die Absenkung ca. 3 dB bei 20 kHz; in Stellung MIN beträgt sie 7 dB.

Es galt bisher als kaum möglich, mit vertretbarem Aufwand von 30 Hz bis 20 kHz den Frequenzgang linealgerade zu den Höhen hin gleichmäßig zu „drehen“. Im linken Bereich des Reglers („10 bis 11 Uhr“) wird der nuBox 513 damit *die Sanftheit* verliehen, die sich im Konzertsaal in etwa 15 bis 10 Meter Entfernung einstellt. (Die Umgebungsluft dämpft hohe Frequenzen stärker als tiefe Töne – etwa um 2 dB pro 10 m.)

Die Anhebungsmöglichkeit der hohen Frequenzen im Bereich zwischen LINEAR und MAX ist ein Zugeständnis an die Wünsche einiger weniger Kunden, die ein sehr helles Klangbild lieben.

**ANSCHLUSS DES MODULS****AN DEN VERSTÄRKER**

Es gibt mehrere Möglichkeiten, das Modul an den Verstärker anzuschließen:

**1. Zwischen Vor- und Endverstärker einer Stereo- oder Surround-Anlage** – die technisch „sauberste“ Möglichkeit. Die extrem hohe maximale Ausgangsspannung des Moduls ermöglicht es, absolut jede auf dem Markt befindliche Endstufe verzerrungsfrei auszusteuern.

**2. An den „Tape-Monitor“-Buchsen des Verstärkers.**

Diese Anschlussart bietet über die Monitortaste die direkteste Möglichkeit, die klangliche Wirkung des Moduls zu testen. Tonbandgeräte mit Hinterbandkontrolle sind nicht mehr sehr verbreitet, sodass es kaum einen Nachteil darstellt, dass die Tape-Monitor-Anschlüsse durch das Modul „besetzt“ werden.

**3. Zwischen CD-Player und CD-Eingang des Verstärkers** – aber nur, falls der Verstärker weder in Vor- und Endstufe auftrennbar ist, noch ein Tape-Monitor-Anschluss zur Verfügung steht! Am Modul stehen drei Eingänge für die wichtigsten Tonquellen der Anlage zur Verfügung.

**Technische Daten ATM-Modul****Eigenschaften + Messwerte**

Funktion	Aktive Lautsprecherentzerrung mit Signalquellenumschaltung
Eingänge	Anzahl Cinch, 3 x L/R (ATM nuBox: 1 x L/R)
Ausgänge	Anzahl Cinch, 1 x L/R
Einstellbereich MID/HIGH-Regler	±7 dB @ 20 kHz
Einstellbereich BASS/EQ-Regler	0...+13 dB (genauer Wert und Mittenfrequenz modellabhängig)
Frequenzgang (MID/HIGH = Linear, BASS/EQ = Off)	>110 kHz (-3 dB)
max. Ein-/Ausgangspegel	22 dBu entspr. 9,8 Veff
Verstärkung	0 dB (intern auf -10 dB einstellbar)
Dynamikumfang (S/N)	124 dB
THD+N	-102dB (0,00071%) @ 1 kHz, 0 dBu (775 mVeff)
Kanaltrennung L – R	-65 dB @ 1kHz, -45 dB @ 10 kHz
Einschaltswelle bei Betriebsart „Auto On“	<1 mVeff, gemessen bei 1 kHz (ATM nuBox: keine Einschaltautomatik)
Zeitintervall bis zum Abschalten bei Betriebsart „Auto On“	ca. 2 min
<b>Allgemeines</b>	
Stromversorgung	±15 VDC
Stromaufnahme, Standby	< 0,5 Watt
Maße ATM-Module für nuLine, nuLook, nuVero	109 x 50 x 190 mm (B x H x T) – Gewicht: ca. 690 g
Maße ATM-Module für nuBox	71 x 50 x 190 mm (B x H x T) – Gewicht: ca. 400 g

# Vergleich der Bassqualität von Subwoofern mit gut gemachten, großen Standlautsprechern

## VORTEILE VON SUBWOOFERN

Unbestritten ist, dass gut gemachte Subwoofer im Verzerrungsverhalten und im Tiefgang *konventionellen* Standlautsprechern (auch *sehr guten* Modellen) im Normalfall weit überlegen sind.

Es gibt kaum große Standboxen, die bei einem Schalldruck von 100 dB / 1 m bei 50 Hz einen Klirrfaktor von unter 20% aufweisen. (Eine gewisse Ausnahme stellen die Modelle nuLine 284, nuVero 110 und 140 dar, die hohe Bass-Pegel ähnlich verzerrungsfrei wie ein großer Subwoofer realisieren können.)

Um einen höheren Schalldruck zu erzielen, ist es zunächst egal, ob die Membranfläche oder der maximal erreichbare lineare Membranhub vergrößert werden. Eine Verdopplung der Membranfläche bewirkt bei gleichem Hub einen Pegelzuwachs von 6 dB, ebenso wie es bei einer Verdopplung der Membranauslenkung (bei unveränderter Membranfläche) der Fall wäre.

Ein Subwoofer mit einem 30-cm-Tieftöner hat etwa 490 cm<sup>2</sup> Membranfläche und erreicht gegenüber typischen Standboxen meist mindestens den doppelten Membranhub (Die einzigen uns zurzeit bekannten Standlautsprecher, die „subwooferverdächtigen“ Membranhub aufweisen, sind die beiden Modelle nuVero 140 und nuVero 110).

Um ähnlich große Pegel bei relativ niedrigen Verzerrungswerten zu schaffen, brauchen zwei Standboxen (ohne „Longstroke-Bässe“) üblicherweise zusammen also mindestens die *doppelte* Membranfläche des zum Vergleich herangezogenen Subwoofers. Zwei Basslautsprecher pro Box mit jeweils 22 cm Durchmesser (je ca. 210 cm<sup>2</sup>) reichen nicht ganz aus, um hier gleichzuziehen.

Es gibt mittelgroße Standlautsprecher, die mit nur einem kleineren Tieftöner (z.B. 17 cm Durchmesser) ausgerüstet sind und deren untere Eckfrequenz laut Tests manchmal bei beachtlichen 30 Hz (-3 dB) liegt. Solche Boxen können Signale dieser Frequenz aber nur bei sehr geringen Lautstärken abstrahlen. Bei Verstärkerleistungen ab etwa 2 Watt, also ca. 85 dB Schalldruck (1 m), wird dann fast grundsätzlich die 50% *Klirrfaktor-Grenze* überschritten. Im Vergleich dazu schafft ein AW-1100 die zehnfache akustische Leistung (also entsprechend 95 dB bei 30 Hz) mit weniger als 2% Klirr!

Verzerrungen bei Lautsprechern bestehen jedoch fast ausschließlich aus der 2. und 3. Oberwelle, im Vergleich zu gleich hohen Klirrwerten bei *Verstärkern* werden sie deshalb als weit weniger störend empfunden!

AW-17, AW-1100 und AW-993 haben auch bei größeren Lautstärken einen Tiefgang bis 20 Hz (-3 dB) hinunter, was selbst mit extrem teuren Passivboxen (ähnlicher Größe und praxisgerechtem Wirkungsgrad) nicht erreichbar ist.

## NACHTEILE VON (EINZELNEN) SUBWOOFERN

Ein *einzelner Subwoofer* kann einen Raum nicht so gleichmäßig anregen, wie ein Paar großer Standlautsprecher beziehungsweise zwei kleinere Boxen mit Erweiterungsmodulen für den Tiefbass.

Wenn man *zwei Subwoofer* einsetzt, bekommt man wegen der „Wellenfrontbildung“ (beziehungsweise „Durchmischung“ der unterschiedlichen stehenden Wellen) schon wesentlich bessere „Raumverteilung“ der tiefen Töne; fast so gut, wie es mit zwei großen Standboxen ohnehin schon der Fall ist.

Wohnräume verhalten sich bei sehr tiefen Frequenzen meistens recht problematisch. Durch den extremen Tiefgang von Subwoofern kommen oft erst „Dröhnbereiche“ des Raumes zum Vorschein, die man ohne den Einsatz dieser Woofer noch gar nicht kannte!

Ein weiteres Problem ist aber auch eine gewisse „Gemütlichkeit“ bei der Impulsverarbeitung. Sie wird durch die allgemein verwen-

dete *Charakteristik der Filter* hervorgerufen, die zur Frequenztrennung zwischen Subwoofern und Satelliten nötig sind.

Durch die steile Trennung – beispielsweise bei 80 Hz – liegt die Bass-Signalverzögerung sowohl beim Woofer als auch bei den Satelliten meist bei über 6 Millisekunden, was die Bässe „akustisch“ um mehr als 2 Meter „nach hinten versetzt“ erscheinen lässt und weit höher ist, als es bei großen Standlautsprechern technisch möglich ist. Durch diese Verzögerung schleichen sich im akustischen Summensignal Unsauberkeiten ein, die vor allem bei Bassimpulsen hörbar werden.

Das Klangbild ist zwar meistens „tiefer“ aber nicht so „homogen“ und „kompakt“ wie bei guten Standlautsprechern. Dagegen helfen auch keine technischen Kniffe wie beispielsweise „Membrankopplung oder -regelung“ im Subwoofer.

## Lösungsansätze für die Raumakustik

Durch ein *Double Bass Array* mit zwei oder vier Frontwoofern (und den dazu passenden Rearwoofern, die mit Time-Delay und gegenphasiger Ansteuerung betrieben werden) lassen sich die Auswirkungen von Raumresonanzen durch die ersten Längs-, Lateral- und Vertikalmoden (also bei Frequenzen unter 100 Hz) um über 90% reduzieren, was gleichbedeutend mit einer perfekten Lösung dieses Problems ist!

## Bisher einziger Lösungsansatz für die „Schnelligkeit“ von Subwoofern

Mit digitalen Signalprozessoren und FIR-Filter-Technologie sind die Probleme bei der Impulsverarbeitung von „Woofer mit Satellit“ prinzipiell lösbar. Mit dieser Filtertechnik kann eine konstante Signaldurchlaufzeit (group delay) erzielt werden – und damit eine perfekte Impulsverarbeitung unabhängig vom Frequenzgang.

Aufgrund der Grenzen durch Speichergröße und Verarbeitungsgeschwindigkeit sind herkömmliche DSP-Systeme mit FIR-Filtern jedoch nur bis etwa 250 Hz hinunter einsetzbar. Um bis in die tiefsten Bassbereiche zu kommen, war bei dieser Filtertechnik bisher noch ein immenser Aufwand erforderlich (mit massivem „parallel processing“ von DSPs).

Wir arbeiten seit Jahren sehr hart daran, die Frequenzbereichserweiterung durch neue Lösungsansätze (mittels „downsampling“ vor den FIR-Filtern und anschließendem „upsampling“) wesentlich ökonomischer zu bewerkstelligen.

Für *Videoanwendungen* gibt es aber noch eine weitere Anforderung: Die Linearisierung der Gruppenlaufzeit ist gleichbedeutend damit, dass ein solch präzises Tonsignal eine gewisse *Gesamtdurchlaufzeit* hat, die an die Verzögerung der Bildwiedergabe von Projektoren beziehungsweise LCDs angepasst werden sollte. Für konventionelle Bildschirme muss das Bildsignal digital verzögert werden, um Dialoge lippensynchron wiederzugeben.

## Neuer Lösungsansatz für die „Schnelligkeit“ von Subwoofern

Mit der von uns patentierten Filter-Anordnung *Nubert Filter* ist erstmals eine steile Frequenztrennung ohne Verzögerungszeit möglich geworden. Diese neue, von Fachleuten bisher als „physikalisch undurchführbar“ betrachtete Technik ermöglicht Sub/Sat-Kombis mit der gleichen Impulspräzision wie es mit den besten Standboxen möglich ist.

## Fazit (bisherige Technik)

Für Raumklang kommt es meistens mehr auf Druck und Tiefgang an als auf „optimale Homogenität“. Hier ist der Einsatz von Subwoofern oft ökonomischer.

Für besonders anspruchsvolle HiFi-Anwendungen stellen die besten unter den großen Standboxen oft die geeignetere Wahl dar.

# Beschreibung technischer Unterschiede bei Subwoofern und Messvergleiche

Im Kapitel „Surround-Lautsprecher und Subwoofer“ wurde bereits auf die Anforderungen eingegangen, die ein Subwoofer in der Praxis erfüllen sollte. Auf den vorliegenden beiden Seiten wird vor allem die technische Realisierbarkeit einer sauberen Signalverarbeitung und die zugehörige Messtechnik beschrieben.

## Anforderungen an Subwoofer

- Tiefreichender Frequenzgang
- Günstiges Verzerrungsverhalten
- Hoher maximaler Schalldruck
- Gutes Impulsverhalten
- Geringe Anregung stehender Wellen im Raum
- Problemlose Anpassung an Satellitenboxen

## FREQUENZGANG UND KLIRRFAKTOR

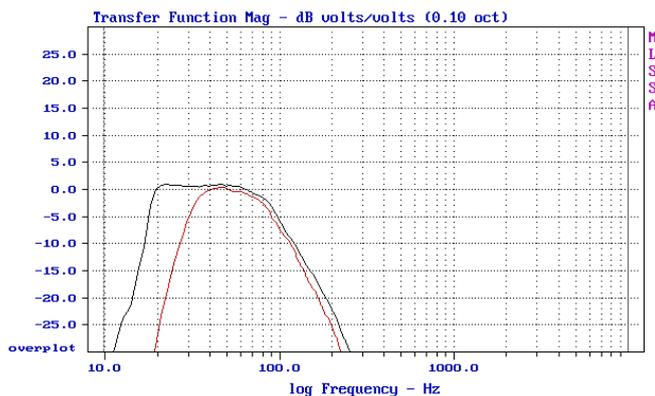
Frequenzgangmessungen für Subwoofer müssen in Abständen von wenigen Zentimetern durchgeführt werden, weil selbst die größten und besten schalltoten Räume für Frequenzen unter etwa 35 Hz nicht mehr ausreichend sind. Bei mehr als etwa 50 cm Entfernung wirken sich Raumresonanzen schon so stark aus, dass eine „echte“ und vergleichbare Frequenzgang- und Klirrfaktor-Messung praktisch unmöglich ist. Man müsste eine Vielzahl von Ergebnissen aus unterschiedlichen Mikrofonaufstellungen mitteln.

Die folgenden Messungen wurden im Nahfeld (meistens 5 bis 15 mm Abstand) mit zwei beziehungsweise drei Mikrofonen (an den Tieftönern und an der Bassreflexöffnung) gemacht, bei denen die Mikrofone im richtigen Verhältnis von Membran- und Bassreflexrohr-Durchmesser eingepegelt waren. Die so erzielten Ergebnisse entsprechen in etwa denen, die in mehreren Metern Entfernung in fast unrealisierbar großen schalltoten Räumen (Länge, Breite und Höhe je über 30 Meter) zu erwarten wären.

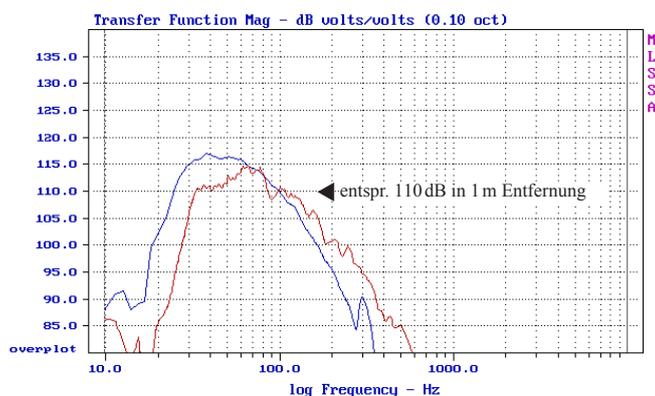
Bei den gemessenen *Klirrfaktorwerten* würden sich in größeren Messabständen durch den *Körperschall* der Gehäuse, Undichtigkeiten und „surrende“ Kabel oder Anschlussklemmen jedoch etwas *ungünstigere* Werte ergeben. Je besser die Gehäusekonstruktion, desto geringer sind diese Unterschiede.

Einige dieser Messungen fanden bei so hohen Lautstärkepegeln statt, dass die Auslenkungen der Lautsprechermembranen zwischen 20 und 30 Hz beim AW-1100 bis zu 40 mm betragen. Beim AW-993 und beim Fremdfabrikat waren es 28 und 22 mm.

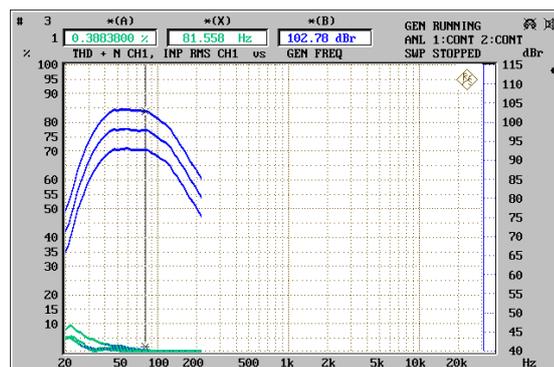
Der AW-1100 kann die 20-Hz-Grundwelle mit einem Schalldruck von über 95 dB (1 m Abstand) abstrahlen. Bei ihm besteht der überwiegende Teil des Klirrfaktors aus der zweiten und dritten Oberwelle, die vom Ohr kaum als Verzerrungen wahrgenommen werden. Das sind also „musikalisch weniger bedenkliche“ Harmonische.



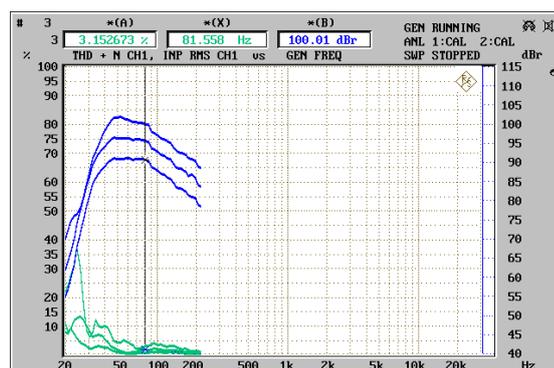
Frequenzgang nuVero AW-17 (Einstellung „low cut 20 Hz“ und Frequenzeinstellung 100 Hz)  
 Frequenzgang etwas kleinerer Subwoofer eines anderen Herstellers (tiefstmögliche Einstellung)



Absoluter Maximalpegel nuVero AW-17 (Einstellung „low cut 30 Hz“ und Frequenzeinstellung 80 Hz)  
 Absoluter Maximalpegel Subwoofer des anderen Herstellers



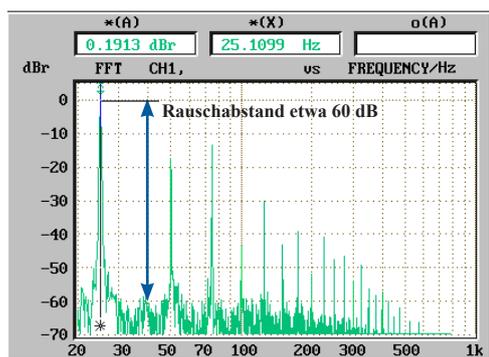
Frequenzgang und Klirr bei nuLine AW-1100 (Einstellung „low cut 30 Hz“ und Frequenzeinstellung 120 Hz)



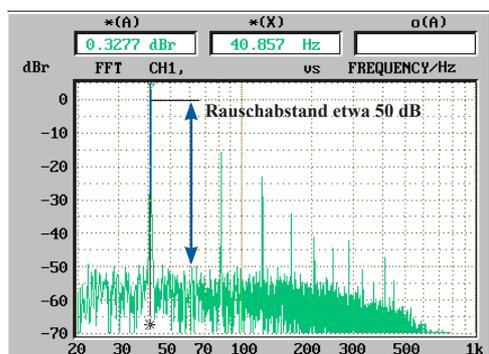
Frequenzgang und Klirr beim Vergleichsprodukt eines renommierten Herstellers

Beim Vergleichsprodukt fehlt es ein wenig an Tiefgang und bei mittleren und größeren Lautstärken sind so *starke Strömungsgeräusche* hörbar, dass sie die eigentliche nutzbare Lautstärkegrenze darstellen – schon weit vor dem Erreichen der maximalen Verstärkerleistung.

Das Strömungsrauschen aus dem Bassreflexrohr ist besonders unangenehm, wenn Orgelmusik oder effektvolle Bassereignisse im Heimkino- oder Gaming-Bereich wiedergegeben werden. Das um knapp 10 dB höhere Strömungsrauschen gegenüber dem AW-1100 ist gehörmäßig noch deutlich störender, als es die Messungen erscheinen lassen.



AW-1100 am Strömungsgeräusch-Maximum  
bei Reflexrohrresonanz 25 Hz



Vergleichsprodukt aus ähnlicher Preisklasse  
am Strömungsgeräusch-Maximum bei Reflexrohrresonanz 41 Hz

(10 dB Unterschied entspricht mehr als dem dreifachen Spannungswert)

## MAXIMALPEGEL UND GEHÄUSEPRINZIP

In **Bassreflexboxen** kann – bei perfekter Abstimmung – ein Lautsprechersystem gegenüber geschlossenen Boxen *mehr als die vierfache* Leistung im Tiefbassbereich abstrahlen. Bei Einsatz von hochwertigen Chassis sind dabei die Klirrfaktorwerte eher besser und die Impulsverarbeitung kaum beeinträchtigt. Es bleiben also nur noch zwei Probleme zu lösen: die Strömungsgeräusche und die Hüllkurvenstabilität („Klirren und Stülpeffekte“ Seite 53).

**Geschlossene Boxen** für den Tiefbassbereich sind dann die beste Wahl, wenn Größe und Verstärkerleistung überhaupt keine Rolle spielen, oder wenn sehr leise gehört wird. Mit mehr als doppelter Chassisbestückung, größeren Gehäusen oder mehr als vierfacher Verstärkerleistung kann man Bassreflexboxen knapp übertreffen.

Bei **Passivmembranboxen** reicht *eine* Passivmembran pro angetriebenem Chassis nicht aus, wenn man im Maximalpegel mit einer Reflexbox gleichziehen will (wenn jede Passivmembran die gleiche Fläche und den gleichen Hub hat, den auch das angetriebene Chassis aufweist). Dabei wird dann eine wesentlich größere, nur indirekt angekoppelte Masse zusätzlich „geschüttelt“, was gegenüber einer Reflexbox für die Impulsverarbeitung ungünstiger ist.

**Mehrkammerbandpassgehäuse** bringen in einem schmalen Frequenzbereich einen hohen Wirkungsgrad – allerdings bei deutlich verschlechterter Impulsverarbeitung. Sie werden überwiegend als *Passiv-Woofers* realisiert und klingen unpräzise und brummelig. Wenn man den Resonanzbereich auf deutlich über eine Oktave ausdehnt, verschwindet der Wirkungsgradvorteil wieder. Es ist damit also kaum möglich, einen halbwegs linearen Frequenzgang von 30 bis etwa 100 Hz zu erreichen.

## Transmission Line

Bei der Beschreibung dieses Prinzips ist es nötig, „mutig“ zu sein. Das Thema ist seltsam „glaubensbesetzt“ und wird von einigen HiFi-Fans standhaft verteidigt.

Wir ärgern uns schon seit Jahren darüber, dass Lautsprecher, die unter Verwendung dieses Prinzips konstruiert wurden, häufig von der Fachpresse gelobt werden, obwohl die Nachteile sowohl gehörmäßig als auch messtechnisch deutlich erkennbar sind, die erhofften Vorteile jedoch nicht zum Tragen kommen.

Ein Transmission-Line-Lautsprecher ist eine „Bassbox“ mit der Annäherung an ein „Highpass-Filter 3. Ordnung“ und geht als Sonderfall aus einer Bassreflexversion (üblicherweise Highpass 4. Ordnung) mit „starker Dämpfung“ hervor. Weder im Wirkungsgrad noch im Verhältnis von abgestrahltem Schall relativ zur Membrangeschwindigkeit gibt es irgendwelche Vorteile für Transmission Line – dafür aber eine Reihe Nachteile, die unter anderem durch Reflexionen an Ecken und Kurven im Kanal, großflächig schwingende Wände und nicht optimale Dämpfung verursacht werden. Das führt zu Welligkeiten im Frequenzgang, außerdem tritt oberhalb des Tiefbassbereichs eine Senke im Frequenzgang auf.

Darüber hinaus gibt es bei der Impulsverarbeitung Nachteile durch den zeitlichen Versatz zwischen dem Tieftonchassis und der Kanalöffnung. Messtechnisch kann man ganz einfach nachweisen, dass *1 elektrischer Impuls* in *2 akustische Impulse* „zer-

legt“ wird, die im Abstand mehrerer Millisekunden das Mikrofon (beziehungsweise logischerweise entsprechend die Ohren) erreichen – zu allem Überfluss ist der zweite Impuls dann auch noch *gegenphasig!*

Auch im Optimalfall kommt man deshalb nicht an eine Bassreflexversion heran, aber bei weit größerem Konstruktionsaufwand. Das soll nicht heißen, dass eine „schrankgroße“ Transmission-Line-Box schlecht sein muss. Sie wäre halt noch merklich besser, *wenn sie eine Bassreflex-Box wäre.*

**Dipolbasslautsprecher** regen den Raum an anderen Stellen an als konventionelle Subwoofer. Theoretisch haben Dipollautsprecher eine Abstrahlcharakteristik, die einer liegenden Ziffer acht ähnelt, was im Bassbereich eine der drei dominanten Raummoden reduzieren könnte.

Bei unzähligen Vergleichen mit geschlossenen und Bassreflex-Subwoofern konnte das aber weder klanglich noch messtechnisch bestätigt werden. Auf jeden Fall ist es nochmals schwieriger als bei „typischen“ Subwoofern, Dipol-Woofers perfekt im Raum zu integrieren, weil zu den üblichen Überlegungen bei der Aufstellung zusätzlich das Anwinkeln des Woofers beurteilt werden muss. Wenn typische Woofers (aus optischen Gründen) nicht an den für dieses Konstruktionsprinzip akustisch günstigen Stellen im Raum aufgestellt werden könnten, gibt es bei Dipol-Woofers aber eine Chance, dass sie an den gleichen Stellen die Raumresonanzen weniger anregen. Um damit ausreichenden Schalldruck im Tiefbass zu erzielen, sind jedoch sehr große Membranflächen und -hübe erforderlich. Die Strömungsgeräusche und die Verzerrungen sind deutlich höher als bei guten konventionellen Woofers; bei nicht allzu großen Lautstärken können sie aber für HiFi-Anwendungen geeignet sein – weniger für Surround.

**Hornlautsprechersysteme** für den Tiefbassbereich haben riesige Abmessungen und sind in normalen Wohnräumen kaum sinnvoll unterzubringen.

Die oft „hochgelobten“ Eckhörner haben den für die Raumakustik sehr unangenehmen Nachteil, dass sie sämtliche Raummoden maximal anregen, was einer neutralen Basswiedergabe in Wohnräumen entgegen läuft. Für Surround-Anwendungen kämen sie allerdings infrage. Dem hohen Wirkungsgrad stehen Nachteile in der Impulsverarbeitung entgegen. Bei den großen Abmessungen ist es nur schwer möglich, die Gehäuseresonanzen in den Griff zu bekommen.

## CHASSISEIGENSCHAFTEN

Ein Lautsprechersystem, das 3 dB weniger Wirkungsgrad hat, benötigt für die gleiche Lautstärke die *doppelte* Verstärkerleistung. Leider wird ein 500-Watt-Subwoofer oft einem 250-Watt-System vorgezogen, selbst dann, wenn seine gesamte Leistungsdifferenz *nur als Abwärme* frei wird!

Leistungsangaben sind manchmal aber auch stark übertrieben! Beispielsweise sind diese Werte für Computerlautsprecher oft um mehr als *20-fache* überzogen (Stichwort PMPO) – so etwas sollte im HiFi-Bereich nicht auch noch anfangen.

Ein Vergleich eigener Modelle mit den Produkten anderer Hersteller ist immer etwas problematisch, weil man dabei auf die eigenen Stärken fixiert ist und die Schwächen der Mitbewerber vielleicht etwas überbewertet.

Es kam schon vor, dass vom Werk eine Verstärkerleistungsangabe von 800 Watt an 6 Ohm genannt wurde. Seltsam war nur, dass die Stromaufnahme aus dem Netz im gleichen Datenblatt mit 250 Watt angegeben war! Die nachgemessene Musikleistung lag bei knapp 200 Watt, die halbwegs unverzerrte Spitzenleistung (für einen einzigen Wellenzug bei 50 Hz) betrug etwa 300 Watt.

Trotz der angegebenen 800 Watt konnte dieser Woofer im Maximalpegel also nicht mit dem AW-993 – und erst recht nicht mit dem AW-17 oder dem AW-1100 mithalten, weil der Wirkungsgrad des zugehörigen Chassis zu gering war.

Unabhängig davon kann man mit 60% der effektiven Membranfläche und 25% weniger Hub (gegenüber dem AW-1100) *nur knapp die Hälfte* der akustischen Leistung im Tiefbassbereich abstrahlen – *egal wie stark* der Verstärker ist.

# Klirren und „Stülp-Effekte“ durch Nicht-Linearitäten des „Force Factor“ [BL(x)] in Magnetsystemen von Lautsprechern

Bei größeren Leistungen und bestimmten Frequenzen (bei Kompaktlautsprechern meist zwischen 50 und 100 Hz, bei Subwoofern eher zwischen 30 und 50 Hz) „stülpen“ sich bei Bass-reflex- und Transmission-Line-Boxen die Membranen oft um bis zu 80% ihres linearen Amplitudenbereiches aus dem Korb heraus (oder werden um 80% in den Korb hineingezogen), so dass nur noch ein Bruchteil des linearen Arbeitsbereiches übrig bleibt. Das ist in diesen Frequenzbereichen meistens die dominante Quelle für die Verzerrungen bei Woofern und Boxen!

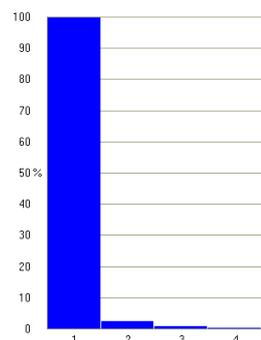
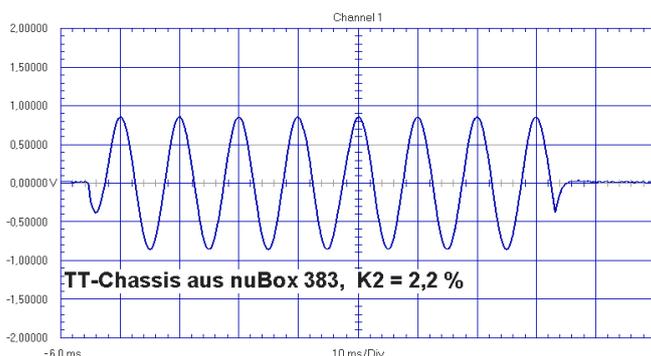
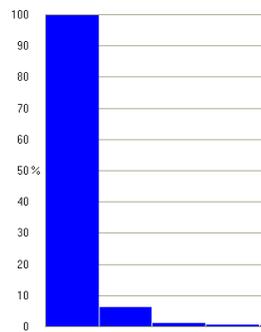
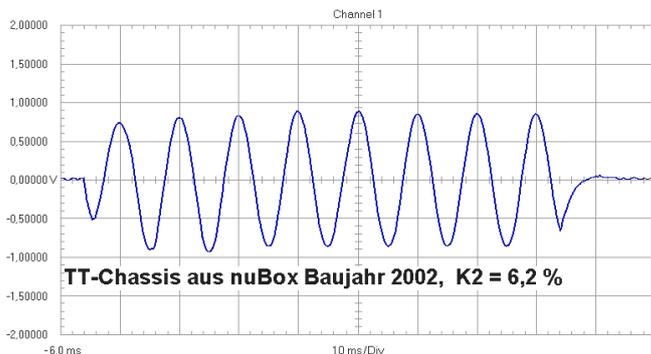
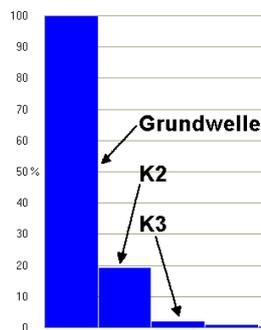
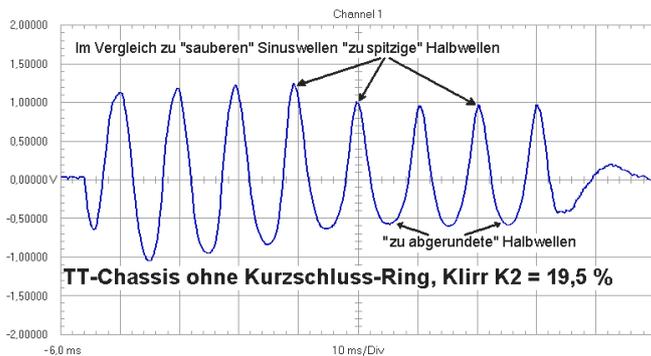
Die Pegel- und Frequenzabhängigkeit ist „nicht konsequent“, das heißt zum Beispiel, dass dieser Effekt auch mit zunehmender Leistung *abnehmen* kann.

Beim Anschauen der Lautsprechermembran während eines „Ton-Bursts“ (also einem Sinus-Signal, das zum Beispiel für acht Wellenzüge eingeschaltet wird) sieht man die eigentlichen Membranbewegungen mit bloßem Auge deutlich als Hüllkurvenverformungen. Beim Betrachten der Burst-Oszillogramme des (mit dem Mikrofon aufgenommenen) *akustischen Signals* kann man das „Rausstülpen“ und „Reinziehen“ kaum erkennen, weil der Bewegungsvorgang *selbst* so tieffrequent ist, dass er unterhalb des Übertragungsbereichs des Mikrofons liegt

Aber die Folgen für das angelegte Nutzsignal sind dramatisch! Die unterschiedlich ausgeprägten Formen der positiven und negativen Halbwellen sind deutlich zu sehen – und vor allem sehr störend hörbar!

Darüber hinaus gibt es aber noch häufig einen „chaotischen“ Zustand in einem kleinen Frequenzbereich (z. B. 53 bis 56 Hz), wo sich dieser Effekt ständig umkehrt. **Diese Effekte lassen sich wirkungsvoll durch den Einsatz von Wirbelstrombremsen in den Magnetsystemen vermindern** – beispielsweise um etwa 85% bei unserem Subwoofer AW-1100! In Kompakt- oder Standboxen lassen sich die Klirrwerte gegenüber üblichen sehr guten Chassis immerhin auf etwa ein Drittel senken.

*Auf unserer Webseite finden Sie zum „Stülp-Effekt“ einen anschaulichen Videoclip!*



**Drei Beispiele für Lautsprecher-Verzerrungen und Verformungen der Hüllkurve, die unter anderem aus Nichtlinearitäten des „Force Factor“ [BL(x)] entstehen. Sie lassen sich durch Wirbelstrombremsen im Magnetsystem reduzieren.**

Messbedingungen:

- Burst 100 Hz, 17,3 Veff (entspr. 75 Watt/4 Ohm) ohne Frequenzweiche
- Lautsprecherchassis montiert auf Schallwand 1 m<sup>2</sup>
- Mikrofonentfernung 3 cm vor Schallwandebene

# Flächenstrahler

Nachfolgend unsere „Philosophie“ zu Flächenstrahlern. Dieses Kapitel ist für HiFi-Fans gedacht, die Fragen zu Flächenstrahlern haben, weil sie solch einen Lautsprecher besitzen, oder sich für die gehörmäßigen und technischen Unterschiede gegenüber „konventionellen“ Boxen interessieren.

Wir wollen hier keine „perfekt wissenschaftliche“ Abhandlung des Sachverhalts liefern, sondern die Summe der Erfahrungswerte aus eigenen Hörtests, und aus zahlreichen Gesprächen mit Entwicklungingenieuren und Kunden zusammenfassen.

## KLANG

Wir hören in unterschiedlich zusammengesetzten Personengruppen seit den frühen 70er-Jahren immer wieder auch Flächenstrahler und haben einige davon sehr exakt unter die Lupe genommen.

Die (bei HiFi-Fans namentlich bekannten) Flächenstrahler klingen oft eindrucksvoll, sind jedoch relativ aufstellungskritisch. Das Hörempfinden von Musikliebhabern reagiert darauf von „absolut unerreicht“ bis „eher enttäuschend“.

Praktisch alle Flächenstrahler sind im Frequenzgang stark richtungsabhängig. In die Signalkette sollte deshalb ein parametrischer Equalizer eingefügt werden.

Durch Feinarbeit bei der Aufstellung kann man merklich andere und oft deutlich ausgeprägtere „Bühnenabbildungen“ erzielen, als es bei konventionellen Lautsprechern der Fall ist. Auch wenn diese „Orchesterbühnen“ in dieser Form nicht auf den Aufnahmen enthalten sind und von den Toningenieuren wohl auch nicht beabsichtigt sind, kann das Hörerlebnis sehr beeindruckend sein.

Einige Instrumente und zum Beispiel Sopranstimmen erscheinen oft vertikal „überdehnt“, werden also „zu groß“ abgebildet.

Weil sich bei den leichten Dipolmembranen Veränderungen des Strahlungswiderstandes durch Stirnwandreflexionen und stehende Wellen im Raum wesentlich stärker bemerkbar machen als bei dynamischen Chassis, gibt es in Abhängigkeit vom Wandabstand meist deutliche Beeinflussungen im Amplitudenverlauf über der Frequenz und – damit verbunden – immer wieder unvorhersehbares Verzerrungsverhalten bei größeren Lautstärken; manchmal auch deutliches „Mitsurren“ der Membranen durch benachbarte Subwoofer.

Dass man eigentlich mindestens alle drei bis fünf Jahre einen sehr teuren *Folientausch* machen müsste, wird leider oft erst Jahre nach dem Kauf erwähnt, wenn die Klangqualität bereits deutlich abgenommen hat.

Es gibt nur wenige Flächenstrahler, mit denen man wirklich „Live-Lautstärken“ erreichen kann. Bei manchen der untersuchten Modelle ergab sich ein Schalldruck von weniger als 82 dB/1 W/1 m. Das heißt, man benötigt damit Verstärker mit der drei- bis vierfachen Leistung gegenüber konventionellen Lautsprechern. Diese hohe Leistung wird aber (zusammen mit den häufig festgestellten Impedanzunterschreitungen) nicht immer zuverlässig beherrscht. Manche Modelle haben ein Impedanzminimum von etwa 1 Ohm (meist im Hochtonbereich), verlangen also sehr laststabile Verstärker.

Andererseits regt ein gut aufgestellter Flächenstrahler durch seine Dipolabstrahlcharakteristik im unteren Mittenbereich den Raum weniger zu *Lateral- und Vertikalmoden* (also stehende Wellen *quer* oder *vertikal* zum Raum) an, was in manchen weniger bedämpften Räumen angenehmer klingen kann.

Flächenstrahler (und einige Hornlautsprecher) bündeln den Schall im Mitten- und Hochtonbereich wesentlich stärker als Lautsprecher mit relativ kleinen Chassis.

Der Direktschall vom Lautsprecher kommt früher an den Ohren an, als der von den Wänden reflektierte Schall-Anteil. Je stärker ein Strahler bündelt, desto höher ist der „Energieanteil“ der direkten ersten Schallfront im Verhältnis zum reflektierten Schall. Deshalb wirkt die Impulsverarbeitung vor allem in schallharten Räumen subjektiv öfters „direkter“ und „schneller“.

Häufig wird dieser Klangeindruck damit begründet, dass die Membranen leichter sind und deshalb dem elektrischen Signal schneller folgen können, was aber nicht den Tatsachen entspricht.

## MESSTECHNIK

Messtechnisch kann man die Faszination, die ein gut aufgestellter Flächenstrahler immer wieder aufbauen kann, nicht wirklich nachvollziehen.

Wenn man „Neutralität“ sucht, ist ein guter Lautsprecher mit dynamischen Chassis sicher überlegen – wie schon erwähnt auch in der Impulspräzision, obwohl viele Leute *gerade da* Vorteile für Elektro- und Magnetostaten sehen wollen.

Die Welligkeiten im Frequenzgang, das Abstrahlverhalten (auch bei kleinen Winkelabweichungen) und das Ausschwingverhalten sind bei allen Flächenstrahlern, die wir im Labor gemessen haben, wesentlich schlechter als bei guten konventionell bestückten Lautsprechern.

Ein gut gemachter Lautsprecher mit dynamischen Systemen und FIR-DSP ist in der Impulsverarbeitung nahezu perfekt. Das kann ein Flächenstrahler nicht so gut, weil die Schwingungsverhältnisse auf der großflächigen Membran nicht so exakt definiert sind.

Dass praktisch alle Studiomonitore mit dynamischen Chassis ausgerüstet sind liegt nicht nur an den höheren Maximalpegeln. Damit sucht man Präzision und Neutralität, nicht so sehr das *Klangerlebnis* oder die *Faszination*.

In diesen beiden Punkten sind gute Flächenstrahler in geeigneten Räumen manchmal schon beeindruckend.

## FAZIT

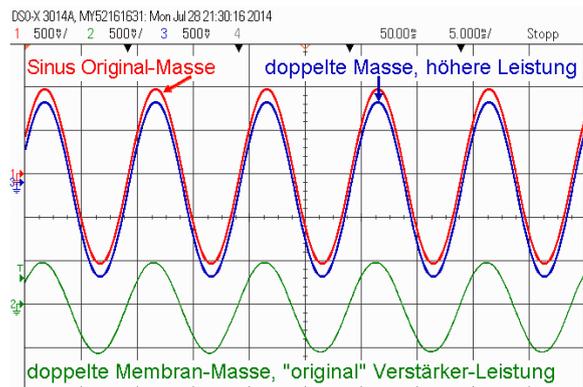
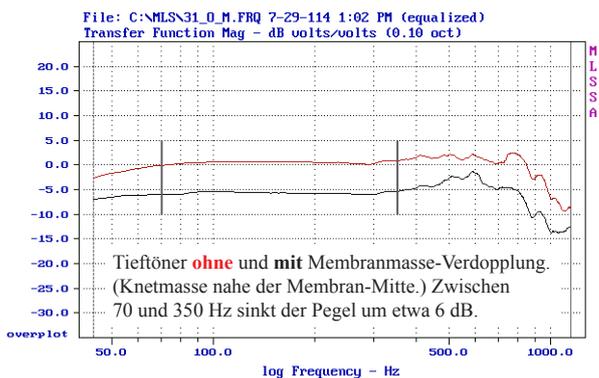
Man kann nicht leicht vorhersagen, ob man mit großflächiger Abstrahlung oder einer sehr guten konventionell bestückten Lautsprecherbox glücklicher wird.

Manche Musikliebhaber hören sehr „analytisch“. Dafür sind Flächenstrahler nicht so geeignet.

Wenn man *einfach mit der Musik leben möchte*, sind sie eine Alternative. Um eine Entscheidung fällen zu können, muss man diese Lautsprecher im eigenen Raum hören.

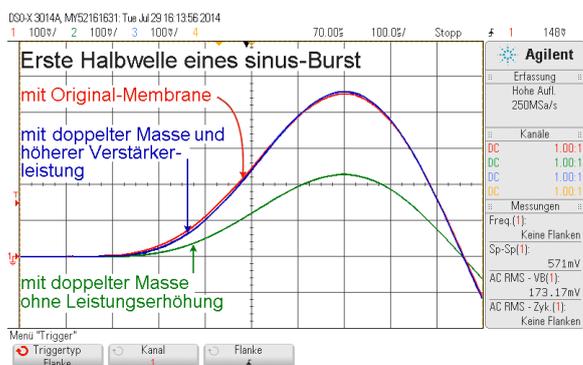
# Leichte Membranen und Impulspräzision

Aus vielen Kundengesprächen hören wir immer wieder die Grundüberzeugung heraus, dass für schnelle und exakte Impulsverarbeitung eine leichte oder „fast massefreie“ Lautsprechermembrane vorteilhaft wäre. Obwohl dies gefühlsmäßig einleuchtend erscheint und von einigen Herstellern auch immer wieder als Werbeargument verwendet wird, ist es dennoch nicht richtig! Durch höheres Membrangewicht verringert sich bei gleicher Antriebskraft zwar die Beschleunigung der Membran – aber *exakt um den gleichen Wert*, um den sich die *Lautstärke* des Lautsprechersystems reduziert.



Durch höhere Verstärkerleistung oder stärkere Magneten bekommt man *wieder genau die gleiche* „Impuls-Schnelligkeit“ wie vor der Masseveränderung.

Somit hat die Masse der Membrane nichts mit der „Impuls-Präzision“ sondern mit dem *Wirkungsgrad* des Chassis zu tun.



Kalottenhoctöner haben gegenüber Bändchen und Elektrostaten zwar oft schwerere Membranen, aber im Normalfall ein wesentlich stärkeres Magnetfeld und somit einen „stärkeren Antrieb“. Gute Kalotten haben also trotz höherer bewegter Masse gegenüber Folien-Lautsprechern meistens *Vorteile* im Impulsverhalten, im Wirkungsgrad sowie im Klirrverhalten – und sie sind wesentlich robuster.

# Alterung von Schaumstoffsicken

Ab etwa 1972 wurden die äußeren Membraneinspannungen von Bass- und Mitteltonlautsprechern (sogenannte „Sicken“) zunehmend aus Schaumstoff hergestellt, statt aus gefalztem Papier, Stoffgewebe oder Gummi, weil dieser Werkstoff durch seine innere Dämpfung günstige akustische Eigenschaften hat.

Fünf Jahre Dauertest in Diskotheken brachten keine Probleme zum Vorschein, fast unbegrenzte Haltbarkeit im Alltag schien also die logische Konsequenz.

Seit etwa 1995 ist aber klar, dass sämtliche Schaumstoffsicken der 70er- bis Mitte der 80er-Jahre (vor allem abhängig von Temperatur und UV-Einstrahlung) nach etwa 13 bis 20 Jahren unbrauchbar werden. Meistens „zerfallen“ sie, weil ihre mechanische Festigkeit (ähnlich wie bei nassem Zeitungspapier) immer geringer wird.

**Alle Lautsprecher-Hersteller waren von diesem Problem betroffen.**

In den meisten Fällen arbeitet ein Basslautsprecher bis zum plötzlichen Ausfall akustisch vollkommen perfekt – manchmal sogar (bei kleineren Lautstärken) *besser* als ein neues Chassis, weil durch die weicher werdende Einspannung die Resonanzfrequenz sinkt und dadurch tiefere Bässe abgestrahlt werden können.

Die Sicken an defekten Lautsprechersystemen zu ersetzen, ist im Prinzip dann möglich, wenn der Lautsprecher noch keine starken Kratzgeräusche von sich gegeben hat. Der Sickentausch ist aber zeitaufwendig und nicht mit absoluter Sicherheit von Erfolg gekrönt. Als Faustregel kann man davon ausgehen, dass sich dieser Tausch eigentlich nur bei Tiefhörnern lohnt, die mehr als etwa 100 Euro gekostet haben und für die es keine Ersatzteilversorgung mehr gibt.

Seit einigen Jahren gibt es auch Reparaturbetriebe, die sich auf den Austausch der Sicken (mit Membranen) spezialisiert haben. Man kann aber davon ausgehen, dass für Tief/Mitteltöner die Klangunterschiede dann eher größer sind als es mit den von uns empfohlenen Ersatztypen der Fall ist.

Seit wir die Alterung von Schaumstoffsicken als Problem erkannt haben, setzen wir nur noch Lautsprecher mit speziellen Gummisicken ein, die aber aufwendigere Frequenzweichen erfordern, um im Übergangsbereich zum Hochtöner gleich gute akustische Eigenschaften zu erreichen.

Für Reparaturen bei manchen unserer früheren Boxenmodelle mit Schaumstoffsicken setzen wir Nachfolgetypen ein, die bisher keine Alterung zeigen, sich im Klang aber ein wenig von den ursprünglichen Versionen unterscheiden.

# Neodymmagneten: Informationen und Philosophie

## Einschätzung zu „Neodym-Eisen-Bor“ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ im Vergleich zu Ferritmagneten für Lautsprecher:

Ende der 70er-Jahre hieß es, dass beispielsweise die „alten“ 38-cm-Gitarrenlautsprecher mit *Alnico*-Magneten „besser klingen“ sollten, als die damals neu aufgekommenen Vergleichstypen mit Ferritmagneten.

Das konnten wir *nur dann* nachvollziehen, wenn die Konstruktion des Magnetsystems nicht an das neue Material angepasst wurde! Darüber hinaus gibt es einen weiteren Aspekt: je „transportabler“ (also dünnwandiger) die Lautsprechergehäuse sein mussten, desto „schlechter“ war die Klangqualität von Alnico, weil die leichteren Chassis mehr „Körperschall“ auf die Gehäuse übertrugen. Einfach deshalb, weil die *bewegte Masse* des Lautsprechersystems (Membran, Schwingspule und so weiter) gleich groß war, aber die Magnetkörper *leichter* waren (Newtonsches Axiom: Prinzip von actio und reactio.)

Es war mit Beschleunigungsaufnehmern feststellbar, dass sich die Magneteinheit – aber auch der Korbrand des Chassis – umso stärker bewegte, je leichter die Magneteinheit war.

Zumindest bei diesen Tieftonlautsprechern haben „schwerere“ Magneten also Vorteile!

Genau die gleichen Versuche haben wir dann immer wieder gemacht, als die Neodymmagneten in die größeren Bass-Chassis Einzug gehalten haben. Es gab die gleiche Art von Ergebnissen – nur *noch heftiger* (weil die Neodyms *noch leichter* waren als die damaligen Alnicos).

Mit besonderen Chassisanordnungen im Boxengehäuse, bei denen die bewegten Massen im Gleichgewicht sind, kann man diese Nachteile weitgehend auffangen. Leider werden diese Konstruktionsmerkmale gerade bei transportablen Anlagen, wo die Gewichtsreduktion sinnvoll wäre, eher selten verwirklicht.

Für den reinen Tieftoneinsatz konnten wir damals einen großen Teil der Beschleunigungskräfte der Korbränder auf die Gehäuse dadurch kompensieren, dass wir die Körbe zweier Tieftöner (vorn/hinten oder links/rechts) mittels kräftiger „Schubstangen“ (zum Beispiel sechs oder acht MDF-Leisten mit Querschnitt 25 x 70 mm) verflanscht haben.

Beide Anwendungen waren aber für die damaligen Bühneneinsätze nicht optimal, weil es ökonomischer war, den Frequenzgang dieser Tieftöner bis in den Bereich von über 500 Hz (also bis in „gewisse Richtwirkung“) gehen zu lassen, statt noch zusätzliche Tief/Mitteltöner einzubauen, die nur nach vorne strahlen.

Weiterhin verschenkt man mit Neodym die Wärmespeicherkapazität der dicken Ferritmagnete. Der größte Teil der Wärmemenge wird zwar per Luftströmung von der Schwingspule „weggepustet“, trotzdem bleiben die Ferrittypen auch nach längerer Betriebszeit, wenn die Wärmespeicherkapazität keine Rolle mehr spielt, deutlich kühler (die Magneteinheit der Ferritmagneten weist eine größere „Konvektionsoberfläche“ auf). Die Temperatur-Unterschiede zur Umwelt ( $\Delta T$ ), sind bis zu 30% kleiner, die thermische Belastbarkeit damit also deutlich größer.

Bei Extremtests gibt es außerdem Probleme wegen des geringeren erlaubten Temperaturbereichs von Neodymlegierungen im Vergleich zu Ferrit; in der Praxis ist das vor allem bei Profianwendungen von Bedeutung.

Ferritmagnete werden seit Jahren mit perfekt konstanten magnetischen Eigenschaften hergestellt.

Es gibt teilweise große Qualitätsunterschiede zwischen Neodymmagneten chinesischer und westeuropäischer Produzenten. Das Neodymmaterial kommt zwar fast ausschließlich aus China, mit Komplettmagneten fernöstlicher Herkunft haben wir aber leider immer wieder recht schlechte Erfahrungen gemacht, was die Konstanz der Materialzusammensetzung und damit der magnetischen Eigenschaften betrifft.

Auch die Korrosionsempfindlichkeit stellt – vor allem bei feuchter Atmosphäre – ein Problem dar, das man durch „Zulegieren“ von Kobalt und Kupfer und durch Beschichtungen mindern kann.

Manche Bauformen von Mittel- oder Hochtonlautsprechern (zum Beispiel magnetostatische- bzw. isodynamische Typen) erfordern aber konstruktionsbedingt den Einsatz von Neodymmaterial.

Einen gewissen Vorteil hat Neodym allerdings: Je leichter die Magnetsysteme sind, desto geringer ist die Gefahr, dass beim harten Aufsetzen von Lautsprechern Transportschäden auftreten. Für Chassis mit Neodymmagneten kann man wesentlich billigere Körbe (etwa aus Kunststoff) oder dünnere Metallstreben am Korb verwenden, ohne Transportschäden befürchten zu müssen. Ein gewisses, vielleicht auch nur optisches Problem stellt unseres Erachtens die „mickrige“ Anmutung eines Tieftonlautsprechers mit einem so kleinen Magneten dar.

Der Preisvorteil für die einfacheren Körbe und die günstigeren Transportkosten haben früher die höheren Kosten für das Magnetmaterial teilweise kompensiert (die Preise pro Kilogramm Neodymmetall fielen 2001 von ca. 15 USD innerhalb zweier Jahre auf den Tiefpunkt von 6,4 USD). Später stiegen die Preise kräftig und schwankten so stark, dass Lautsprecher mit diesen Magneten kaum noch kalkulierbar waren.

Für typische Tieftöner verwenden wir lieber Ferrit, für sehr kleine Tieftöner (unter rund 10 cm Durchmesser) sowie für Mittel- und Hochtöner kommt auch Neodym in Frage – aber mit „verschärfter“ Eingangskontrolle und möglichst mit einem Zusatzkühlkörper auf dem Magnetsystem.

Für spezielle Tieftonsysteme der Bauart „underhang“ oder „underhung“ (kurze Schwingspule in langem Luftspalt) ist Neodym sinnvoll, weil hier ein großer magnetischer Fluss bereitgestellt werden muss, der mit Ferritmagneten kaum realisierbar ist.

Für Tieftöner konventioneller Bauart macht Neodym unserer Meinung zurzeit nur in Teilbereichen Sinn, zum Beispiel bei transportablen Systemen und im Car-Audio-Einsatz.

## BASIS- UND HINTERGRUNDINFORMATIONEN

In China gibt es große Lagerstätten von Mineralien (zum Beispiel Bastnäsit), in dem Neodym mit etwa 12% enthalten ist. Obwohl zwei Drittel der weltweiten Neodymvorkommen außerhalb Chinas liegen, verfügt China beim Abbau praktisch über ein Monopol. Aufgrund der enormen Preissteigerungen werden derzeit wieder Abbaugebiete in den USA, Russland, Grönland oder Australien reaktiviert. Der Markt wuchs bis 2008 zweistellig pro Jahr, vor allem wegen dem größerem Bedarf an kleinen Gleichstrommotoren in der Automobilindustrie und für den Bau von Windkraftanlagen.

Nachdem ein staatliches chinesisches Unternehmen im Mai 2009 die Mehrheit an der größten australischen Seltene-Erden-Mine erworben hat, kontrolliert China nun 97% der weltweiten Neodym-

Förderung und hat 2010 ein Gesetz beschlossen, die Exporte Seltener Erden sechs Jahre lang auf die Menge von 35.000 t pro Jahr zu verknappen. Das ist weniger als die Hälfte des außerchinesischen Bedarfs.

Kurz vor dem „Verknappungs-Gesetz“ pendelte der Neodympreis zwischen 17 und 50 USD pro kg. Danach explodierten die Preise geradezu. Der Höchststand lag im Spätsommer 2011 bei knapp unter 500 USD. Weil der Preis in den Monaten danach leicht zurückging, veranlasste die VR China vorübergehend einen Produktionsstopp, um den Preis hoch zu halten. Aufgrund der chinesischen Exportbeschränkungen und Preissteigerungen bei den Seltenen Erden ist weltweit ein „Goldrausch“ auf der Suche nach neuen Vorkommen dieser Rohstoffe ausgebrochen. Obwohl China nur über etwa 33% der Lagerstätten verfügt, hat es Jahre gedauert, bis die ersten neuen Bergwerke in den USA, Indien und anderen Ländern in Betrieb gehen konnten.

Nach Klage der WTO (World Trade Organization) gegen Chinas Ausfuhrbeschränkungen und jahrelangem Streit mit dem WTO-Schiedsgericht – wegen Verstoß gegen die Regeln des freien Welthandels – hat China im Januar 2015 die Exportbeschränkungen für Seltene Erden gestoppt, was einen dramatischen Preisverfall ausgelöst hat. Die Betreibergesellschaft der Mine in Mountain Pass, Kalifornien, hatte nach dem Wiederbeginn der Förderung Traumrenditen versprochen. Ihr Aktienkurs ist im Laufe des Jahres 2015 aber ins Bodenlose abgestürzt.

Seit einigen Jahren gewinnt das Recycling von seltenen Erden stark an Bedeutung.

#### **Magnetwerkstoffe aus Seltenen Erden (Lanthanoide)**

Diese sind gar nicht so selten! Die ersten Seltenen Erden wurden vor über 200 Jahren entdeckt. Der Name kommt daher, dass man damals diese Elementgruppe für sehr selten hielt. Tatsächlich sind es aber fast 25% aller Metalle in der Erdkruste. Es gibt aber nur wenige Lagerstätten, aus denen diese Minerale ökonomisch sinnvoll abbaubar sind.

Die 16 (nicht radioaktiven) Oxide der Seltenen Erden sind relativ schwer zu trennen. Für Magnetwerkstoffe sind Neodym, Samarium, Praseodym und Dysprosium (mit einem Höchstpreis von ca. 3.100 USD pro kg das weitaus teuerste Magnetmaterial) am wichtigsten.

Neodym ist mit 38 ppm in der Erdkruste fast ebenso häufig zu finden wie Kupfer (50 ppm), Zink (75 ppm) oder Nickel (80 ppm). Die Magnetwerkstoffe bestehen aus Neodym-Eisen-Bor-Legierungen ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ) oder auch aus Samarium-Cobalt.

Weil sie ziemlich korrosionsempfindlich sind, müssen sie lackiert oder sonstwie beschichtet werden – oder es müssen zusätzliche Metalle zulegiert werden.

Je nach erreichbarer Energiedichte (420 bis 200 kJ/m<sup>3</sup>) liegen die maximal erlaubten Arbeitstemperaturen zwischen 65 und 150°C. Die Werte für die Entmagnetisierungskurven sinken mit steigenden Temperaturen stark.

#### **Magnetwerkstoffe aus Metalllegierungen**

Legierte Magnetwerkstoffe bestehen überwiegend aus Aluminium, Nickel und Cobalt (Alnico).

Alnicomagnete vertragen sehr hohe Einsatztemperaturen bis über 400°C. Gesinterte Hartferrite und  $\text{SmCo}_5$ -Magnete gehen bis 250°C.  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  erlaubt bis zu 350°C.

#### **Magnetwerkstoffe aus Keramik**

Oxidkeramikmagnete werden meist Ferritmagnete genannt. Sie bestehen aus Eisenoxid, Strontiumoxid oder Bariumoxid. Sie sind recht preisgünstig, empfindlicher gegen Überhitzung als Alnico, aber unempfindlicher als Neodym.

#### **Umweltverträglichkeit der Förderung von Seltenen Erden**

Beim Abbau von Seltenen Erden werden Säuren in die Bohrlöcher gepresst, damit die Metall-Oxide ausgewaschen werden können. Dabei bleiben giftige Rückstände und Abfälle – wie z.B. Schwermetalle – zurück, die in dafür angelegten Speicherseen und Deponien „zwischengelagert“ werden.

Auszug aus einem Bericht des ARD-Magazins „Panorama“:

#### **„Das schmutzige Geheimnis sauberer Windräder.“**

Die Produktion vieler getriebeloser Windräder verursacht katastrophale Umweltzerstörungen in China. Denn für diese Windräder setzen die Hersteller ein wertvolles Metall ein: Neodym, eine sogenannte ‚Seltene Erde‘. Neodym-Windräder verzichten meist auf ein Getriebe. Dafür brauchen sie effizientere Generatoren, die sich besonders gut aus diesem Rohstoff herstellen lassen. Neodym wird nahezu ausschließlich in chinesischen Minen abgebaut. Bei der Trennung des Neodyms vom geförderten Gestein entstehen giftige Abfallprodukte, außerdem wird radioaktives Uran und Thorium beim Abbauprozess freigesetzt. Diese Stoffe gelangen zumindest teilweise ins Grundwasser, kontaminieren so Fauna und Flora erheblich und werden für den Menschen als gesundheitsschädlich eingestuft.

Im nordchinesischen Baotou beispielsweise ist die Umgebung rund um die Fabriken, die das Neodym vom Erz trennen, verseucht. Die Anwohner sind teilweise schwer krank, das Wasser ist nachhaltig kontaminiert. Studien berichten von einer deutlich erhöhten Krebsrate. Viele der Hersteller dieser Windkraftanlagen zeigten sich auf Anfrage ahnungslos in Bezug auf die massiven Umweltschäden. Einige kündigten eine Überprüfung der Produktionsbedingungen an.“

<http://daserste.ndr.de/panorama/archiv/2011/windkraft189.html>

# Analogfilter und IIR-Filter mit hoher Flankensteilheit und perfekter Summierung der einzelnen Frequenzbänder im Frequenz- und im Zeitbereich.

## STAND DER TECHNIK

Analogfilter (ab 2. Ordnung) werden üblicherweise in drei Typen eingeteilt:

- **Besselfilter:** Sprungantwort im Zeitbereich ohne Überschwingen; der Frequenzgang ist im Übergang vom Durchlass- in den Sperrbereich aber nicht so „scharf“ ausgeprägt wie bei Butterworth- und Tschebyscheff-Filtern.

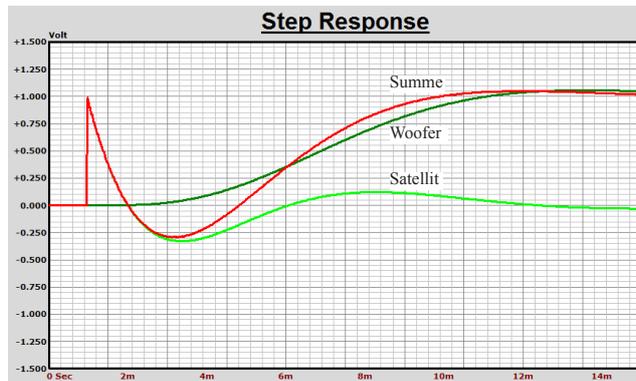
- **Butterworth-Filter:** Frequenzgang *maximal linear* bis zu dem Frequenzpunkt, bei dem der Frequenzgangabfall einsetzt; die Sprungantwort hat aber deutliches Überschwingen, das mit zunehmender Ordnung noch größer wird.

- **Tschebyscheff-Filter:** Höchste Filtersteilheit beim Übergang vom Durchlass- in den Sperrbereich bei definierter Welligkeit im Übertragungsbereich; noch stärkeres Überschwingen als Butterworth-Filter.

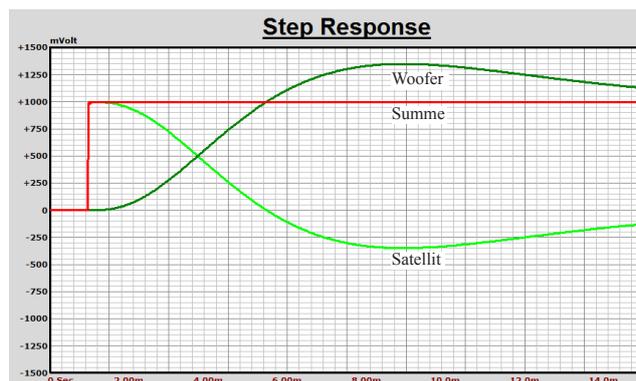
Allen diesen Filtertypen ab 2. Ordnung (also mit Flankensteilheiten von 12 dB/oct. oder höher) ist gemeinsam, dass ein summiertes Signal aus Hoch- und Tiefpassfiltern (bzw. Hochpassfiltern, Bandpässen und Tiefpassfiltern) *nur im Frequenzgang* sauber summiert werden kann – aber *nicht im Zeitbereich*.

Der einzige bisher verfügbare analoge Filtertyp, der diese Forderung erfüllt, ist ein **Filter erster Ordnung** (also mit der Steilheit von 6 dB/oct.).

Bei Filtern höherer Ordnung haben die Nichtlinearitäten der Gruppenlaufzeit (group delay) zur Folge, dass eine Sprungfunktion (zum Beispiel Rechteckwiedergabe) stark verformt wird. Diese Nichtlinearitäten sind im Bassbereich als „langsamer“ Bass deutlich hörbar und werden im unteren Mittenbereich (um 500 Hz) als „unpräzise“ empfunden. Oberhalb etwa 1,5 kHz werden sie aber kaum mehr wahrgenommen.



Step Response „idealisierte“ Chassis mit typischer Sub/Sat-Weiche (Trennfrequenz 80 Hz, Linkwitz/Riley-Filter 24 dB/oct.)



Step Response „idealisierte“ Chassis mit der neuen Sub/Sat-Weiche (Trennfrequenz 80 Hz, Sub 18dB/oct. Sat 12 dB/oct.)

## Ausnahme, in der Praxis jedoch nicht tauglich

Im Jahr 1977 wurde in der Zeitschrift „AES – Journal Of The Audio Engineering Society“ ein „Filler-Driver-Konzept“ vorgestellt. Zusätzlich zu einer typischen Zweiwegweiche mit der Flankensteilheit von 12 dB/oct. wurde ein Mitteltonkanal vorgeschlagen, der die Aufgabe hat, das summierte Signal aller drei Kanäle im Amplituden-Verlauf und in den Laufzeiten des Hoch- und Tieftonkanals zu kompensieren.

*Weil dieser Vorschlag für den zusätzlichen „Mittelton-Kanal“ die Flankensteilheit von 6 db/oct. verlangt (einschließlich Mitteltonlautsprecherchassis!) und der Verlauf über den gesamten Audibereich von 20 Hz bis 20 kHz sehr genau eingehalten werden muss, ist dieses Konzept nur theoretisch für eine saubere Kompensation tauglich, aber in der Praxis aus folgenden Gründen nicht sauber realisierbar:*

- Ein Mitteltonlautsprecher, der (in Verbindung mit einer Frequenzweiche) der vorgegebenen „Filler-Driver-Filterkurve“ von z.B. 100 Hz bis 10 kHz sehr genau folgen kann, wäre technisch schwierig realisierbar – aber bei weitem noch nicht ausreichend. Ein (praktisch unvermeidlicher) Frequenzgangabfall bei 100 Hz und bei 10 kHz, der dem Verlauf von Bessel- bis Butterworth-Filtern zweiter Ordnung entspricht, führt im Gesamtsystem schon zu zwei Frequenzgangeinbrüchen von über 3 dB und zu einer Welligkeit im group delay, die *schon höher* ist als bei Weichen-Konzepten *ohne Filler-Driver*.

- Bei solch flachen Frequenzgangflanken im Mitteltonkanal hat man über einen weiten Frequenzbereich (zusammen mit dem Hochton-Lautsprecher) *zwei* Schallquellen, die, wenn sie übereinander angeordnet sind, in Abhängigkeit von der Ohrhöhe starke Interferenzen bilden (sogenannte Kammfiltereffekte).

## DIGITALE SIGNALPROZESSOREN MIT FIR-FILTERN

### Latenzzeitproblematik

Mit digitalen Signalprozessoren und FIR-Filter-Technologie sind die Probleme bei der Impulsverarbeitung von Lautsprecher-mehrwegsystemen (oder „Subwoofern mit Satellit“) prinzipiell lösbar. Mit dieser Filtertechnik kann eine konstante Signaldurchlaufzeit (group delay) erzielt werden – und damit eine perfekte Impulsverarbeitung – unabhängig vom Frequenzgang.

Diese Prozessoren haben jedoch einen wesentlich höheren Preis und (je nach der gewünschten unteren Grenzfrequenz) eine Signalverzögerung bis in den Bereich von über 50 ms, was den Einsatz in „real time“ (zum Beispiel bei Liveübertragungen) unmöglich macht und für Videoanwendungen deutlich erschwert.

Für konventionelle Bildschirme muss dann das Bildsignal digital verzögert werden, um Dialoge lippensynchron wiedergeben zu können.

Üblicherweise sind herkömmliche DSP-Systeme mit FIR-Filtern jedoch *nur bis etwa 250 Hz hinunter* einsetzbar. Um bis in die tiefsten Bassbereiche zu kommen, war bei dieser Filtertechnik früher noch ein immenser Aufwand notwendig. Mit neueren Lösungsansätzen (mittels „downsampling“ vor den FIR-Filtern und anschließend erneuten „upsampling“) sind solche Lösungen wesentlich ökonomischer zu bewerkstelligen. Trotzdem liegen die Preise dieser Signalprozessoren noch in der Größe von über 1000 Euro.

**DAS NEUE KONZEPT**

Mit dem neuen Konzept „Nubert Filter“ sind Analogfilter machbar, bei denen alle Frequenz-Kanäle mit hoher Steilheit realisierbar sind. Das aufsummierte Signal weist dabei keine – oder vernachlässigbar geringe – Zeitverzögerung auf.

**Vorbemerkung**

Die Frequenzgänge von Lautsprecherchassis entsprechen üblicherweise einer Reihenschaltung von Hoch- und Tiefpassfiltern (mit mehr oder weniger großen Welligkeiten im Übertragungsbereich). Die Steilheit des „internen Hochpassfilters“ innerhalb des Lautsprecherchassis (also am frequenzmäßig „unteren“ Übertragungsbereich) ist von der Konstruktion des Chassis und des Gehäuses abhängig.

Bei Tieftönern in geschlossenen Gehäusen und bei Mitteltonern beträgt diese Steilheit häufig 12 dB/oct.

Bei Hochtonlautsprechern liegt diese Steilheit oft noch etwas höher. (Hochtonlautsprecher werden durch Filter in einer Frequenzweiche meist deutlich „oberhalb“ ihres „Grundfrequenzgangs“ betrieben, vor allem um Verzerrungen zu vermeiden – aber auch wegen der relativ geringen thermischen Belastbarkeit.)

Aufgrund dieser recht steilen Filtercharakteristik „innerhalb“ der Lautsprecher-Systeme ist es nicht möglich, über mehrere Oktaven hinweg einen Frequenzgang zu erzielen, der einem Filter erster Ordnung (also 6 dB/oct) entspricht.

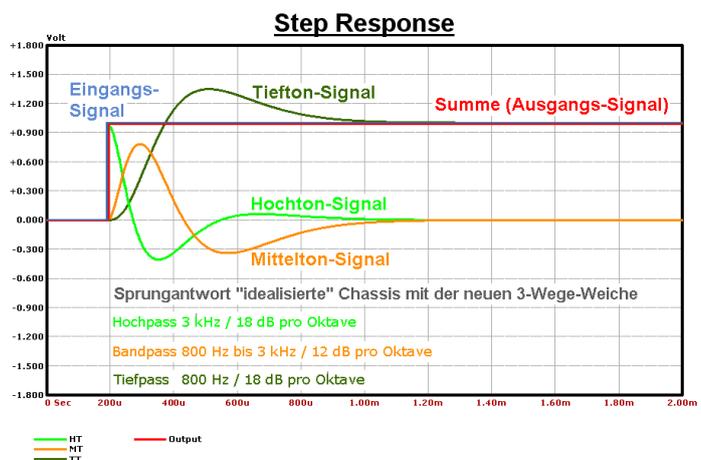
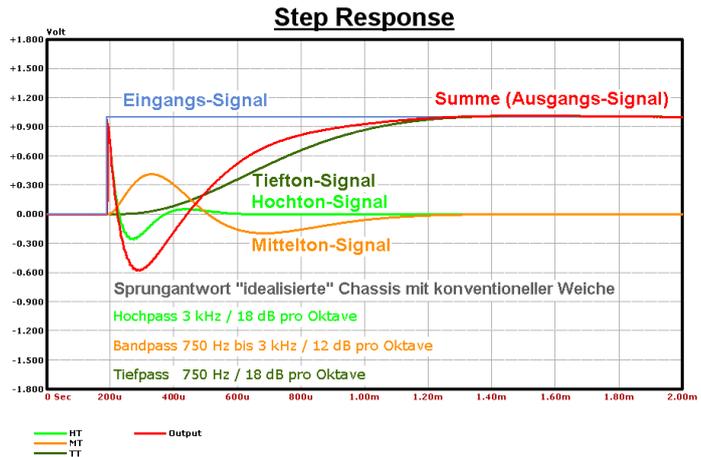
Deshalb ist es also notwendig, Filtercharakteristiken von mindestens 12 dB/oct zu erreichen (also entsprechend Filtern 2. Ordnung). Dann können die Filter in der Frequenzweiche (passiv oder aktiv) zusammen mit der Charakteristik der Lautsprecherchassis so dimensioniert werden, dass eine annähernd perfekte Annäherung an die geforderten Verläufe des jeweiligen „Weichenpfades“ erreicht wird. Die Summierung der Schalldrücke der einzelnen Lautsprecher-Chassis erfolgt akustisch auf dem Luftweg.

**Realisierung des Filters**

Die perfekte Summierung der Filterausgänge sowohl im Frequenz- als auch im Zeitbereich ist gleichbedeutend mit der Forderung nach einem Signal, das sich weder im Frequenzgang noch im Phasenverlauf noch in der Gruppenlaufzeit vom Eingangssignal unterscheidet.

Wie schon erwähnt, scheiden Filter erster Ordnung, die diese Forderung erfüllen, aus – weil damit ein *akustisches* Signal mit „so flacher“ Filtersteilheit weder *sauber realisierbar* noch sinnvoll ist.

Eine *Reihenschaltung* mehrerer Hochpassfilterstufen für den Hochtonkanal und mehrerer Tiefpassfilterstufen für den Tieftonkanal erfüllt die Forderung nach der „richtigen“ Summierung im Zeitbereich üblicherweise nicht mehr!



Wie die Grafiken der Sprungantworten zeigen, löst die neu entwickelte und patentierte Filteranordnung „Nubert Filter“ die Problematik im Zeitbereich perfekt.

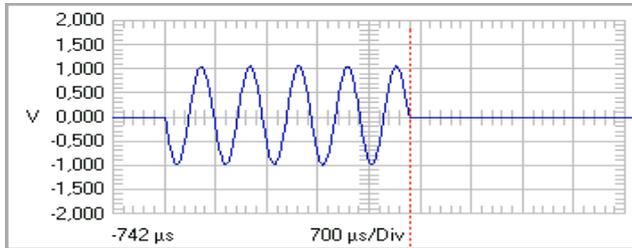
In unserem Labor wurden schon mehrere Prototypen nach diesem Verfahren verwirklicht. Sie sind messtechnisch und klanglich nicht von den wesentlich aufwendigeren und teureren DSP-FIR-Filter-Prozessor-Lösungen unterscheidbar, die darüber hinaus den Nachteil einer so hohen Signaldurchlaufzeit haben, dass damit Liveübertragungen von Musik nicht möglich und Tonübertragung für Fernsehen und DVD nur erschwert möglich ist.

# Burst-Impulsverarbeitung Tief-/Mitteltonlautsprecher

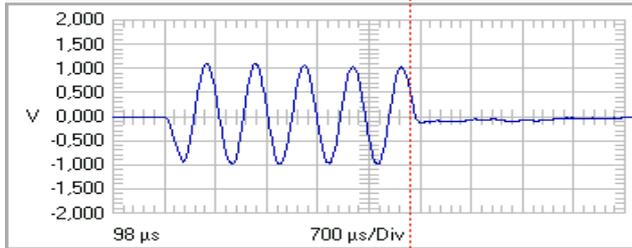
Messabstand 20 cm

Die folgende Beispiele zeigen, dass die annähernd perfekte Impulsverarbeitung, wie sie Nubert Lautsprecher aufweisen, absolut nicht selbstverständlich ist.

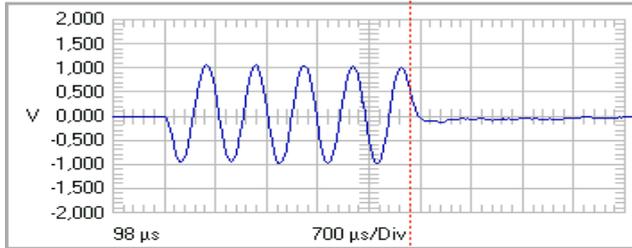
Die **Punktlinie** markiert das Signalende. Bei einem idealen Lautsprecher würde das akustische Signal hier ebenfalls enden.



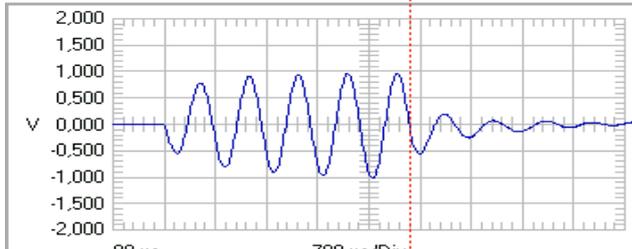
Das ist das elektrische Eingangssignal, das der Verstärker an den Lautsprecher liefert. (Burst-Signal mit 5 Wellenzügen, 1,5 kHz.)



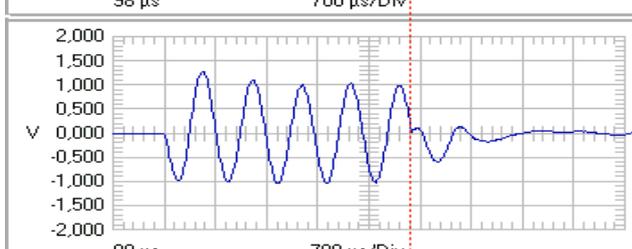
Das akustische Ausgangssignal der bis 2014 gebauten Nubert **nuVero 4**. Fast perfektes Impulsverhalten für Burst-Signale. Das 1,5-kHz-Signal ist nicht „besonders ausgesucht“, sondern typisch für das Verhalten zwischen etwa 300 und 2000 Hz.



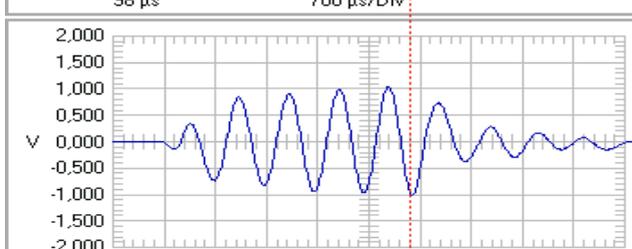
Das akustische Ausgangssignal der Nubert **nuBox 683**. Fast perfektes Impulsverhalten für Burst-Signale.



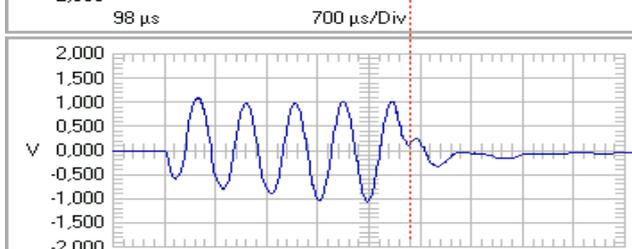
Ein typisches Ausgangssignal für **Lautsprecher der Preisklasse um 500 Euro/Paar**.



Das Ausgangssignal eines **teuren High-End-Systems**, das schnell einschwingt, aber beim Ausschwingverhalten nicht optimal präzise ist.



Ein relativ ungünstiges Impulsverhalten für die **Boxenpreisklasse um 500 Euro/Paar (Drei-Wege-Box)**. Zu langsames Ein- und Ausschwingen.



Das Signal eines **High-End-Lautsprechers der Preisklasse 7000 Euro/Paar**

Das Ein- und Ausschwingverhalten ist nicht schlecht, kommt in der Präzision aber nicht an an eine nuBox 683 oder gar die nuVero- und nuLine-Familien heran.

# Messvergleich vier verschiedener Kompaktboxen

In 1 m Abstand, Winkel 5° links/rechts der Achse, auf Stativ 90 cm.

Vertikaler Winkelbereich 10°/5°, 0°, -5°/-10° (Das entspricht unterschiedlichen Mikrofonhöhen über einen Bereich von ca. 35 cm). Messungen oberhalb 250 Hz mit kurzem Zeitfenster (ohne Raumresonanzen)

## nuBox 313

### obere Kurven:

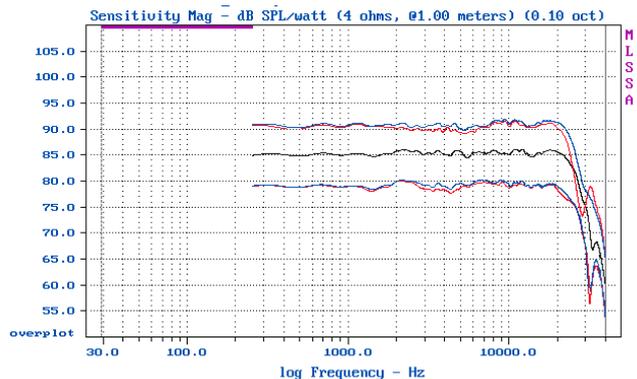
Mikrofon-Höhe 10° und 5° „oberhalb Optimalhöhe“, 4 Watt.

### mittlere Kurve:

optimale Mikrofon-Höhe (Mitte TT/HT), 1 Watt.

### untere Kurven:

Mikrofonhöhe 5° und 10° unter opt. Höhe, 0,25 Watt.

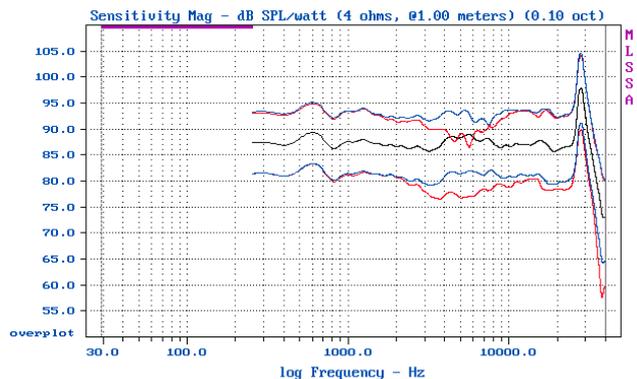


## Sehr gut beurteilter Lautsprecher eines weltbekannten HiFi-Spezialisten, mehrfacher Testsieger.

Zum Paarpreis von etwa 300 Euro ein guter Lautsprecher, aber wohl nicht ganz so sauber wie die nuBox 313.

Exakt gleiche Messbedingungen,

vertikaler Mikrofonhöhenbereich ca. 35 cm.



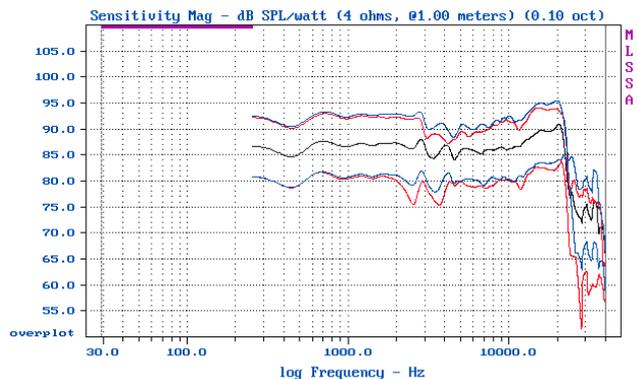
## Gut beurteilter Lautsprecher eines bekannten deutschen HiFi-Spezialisten.

Für die Preisklasse 450–500 Euro/Pair

recht guter Klang.

Exakt gleiche Messbedingungen,

vertikaler Mikrofonhöhenbereich 35 cm.



## Leicht topfig und nasal klingender Lautsprecher eines großen europäischen Herstellers.

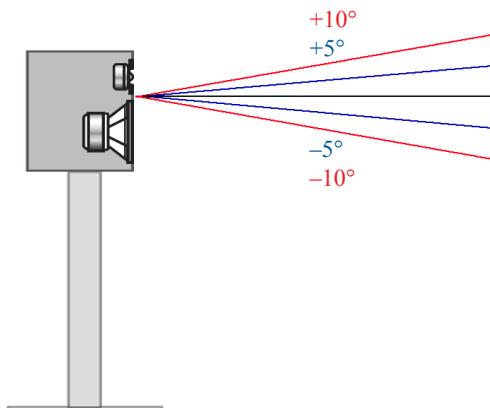
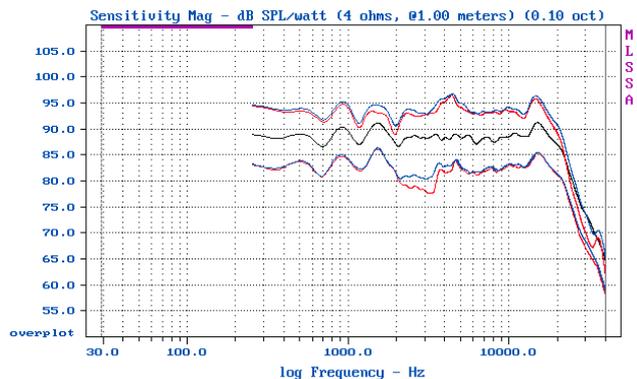
Diese preisgünstige, recht hochwertig aussehende Box

verfärbt deutlich stärker als man beim Betrachten der

„mittleren“ Frequenzgangmessung vermuten würde.

Exakt gleiche Messbedingungen,

vertikaler Mikrofonhöhenbereich 35 cm.

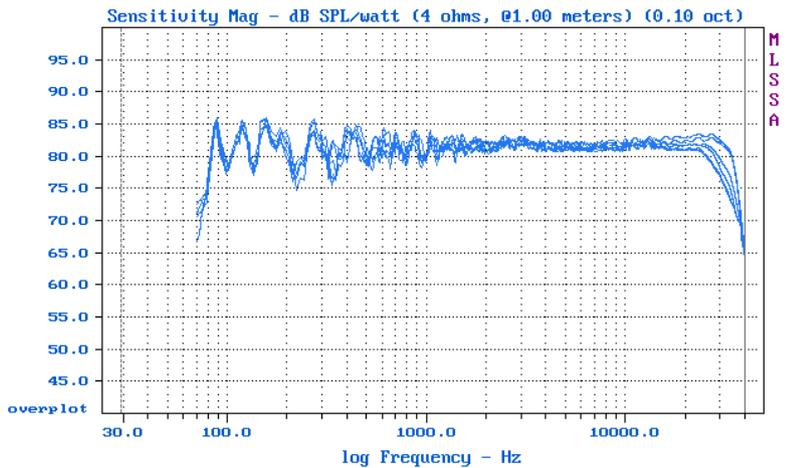


# Rearspeaker-Vergleich

Gemessen mit Raumresonanzen, Abstand 1 m.

## nuLine 24

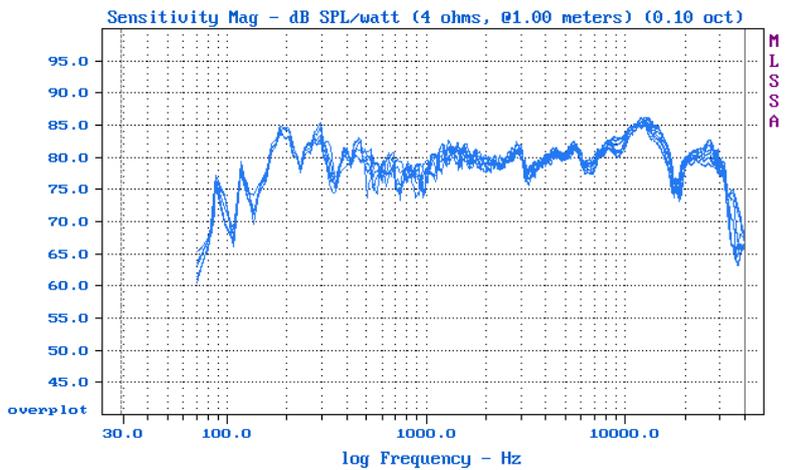
(Messungen mit Raumresonanzen)  
 auf Stativ 70 und 100 cm,  
 Abstand 80 und 100 cm,  
 Winkel 0 bis 20 Grad.



## THX-Dipol-Rearspeaker eines sehr bekannten Herstellers

(Messungen mit Raumresonanzen)  
 auf Stativ 70 und 100 cm,  
 Abstand 80 und 100 cm,  
 Winkel 0 bis 20 Grad.

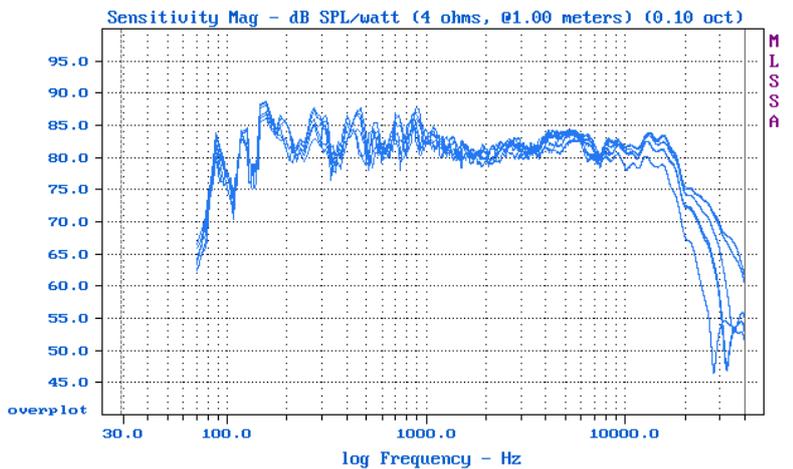
Trotz guter Tests in Fachzeitschriften deutet dieses Messergebnis auf verfärbteren, zu mittennarmen und zu „aggressiven“ Klang hin. Deutlicher Bass-Abfall unterhalb 180 Hz.



## „Ordentlich klingende“ Kompaktbox mit englischem Markennamen als Rearspeaker – Made in China

(Messungen mit Raumresonanzen)  
 auf Stativ 70 und 100 cm,  
 Abstand 80 und 100 cm,  
 Winkel 0 bis 20 Grad.

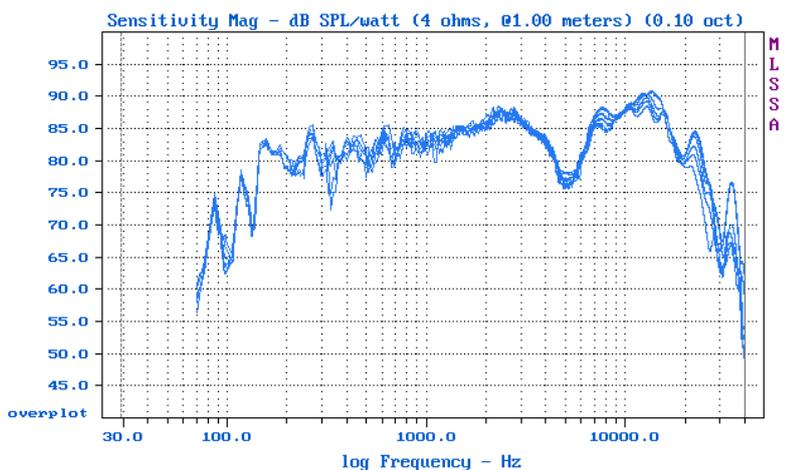
Vergleichbare Größe wie nuLine 24, aber Bass-Abfall unterhalb 150 Hz.



## Kompaktlautsprecher mit sehr bekanntem englischen Markennamen

(Messungen mit Raumresonanzen)  
 auf Stativ 70 und 100 cm,  
 Abstand 80 und 100 cm,  
 Winkel 0 bis 20 Grad.

Dünnere und verfärbtes Klangbild, aber erstaunlicherweise mit guten Test-Ergebnissen.



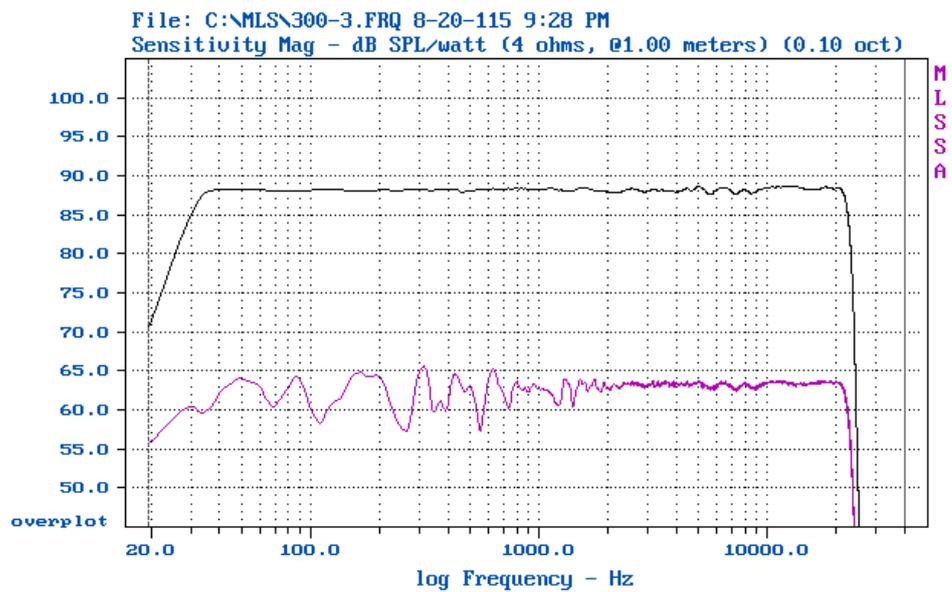
# Beispiele unterschiedlich unterdrückter Raumresonanzen bei der Frequenzgangmessung eines Lautsprechers

nuPro A-300 auf Stativ, Abstand 1 m (Glättung mit „octave smoothing“ und verschieden langen Mess-Zeitfenstern)

nuPro A-300

**oben:** Raumresonanzen ausgeblendet  
smoothing 0,1 oct  
(Oberhalb 200 Hz: adaptive window,  
kurzes Zeitfenster  
Unterhalb 200 Hz: Nahfeldmessung)

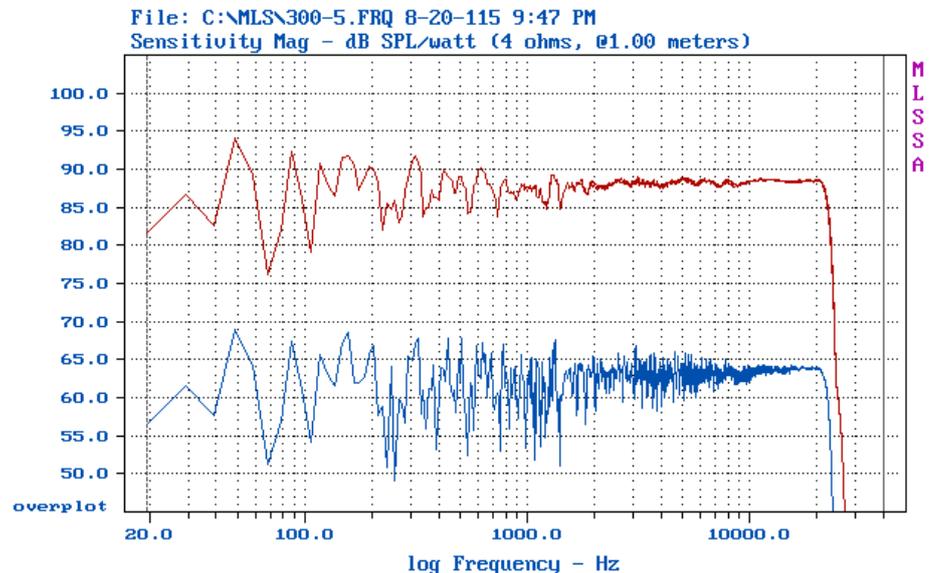
**unten:** Raumresonanzen etwas geglättet  
(adaptive window, langes Zeitfenster,  
smoothing 0,1 oct)



nuPro A-300

**oben:** Raumresonanzen kaum geglättet  
(rect. window, langes Zeitfenster  
smoothing 0,1 oct)

**unten:**  
mit sämtlichen Raumresonanzen  
(ohne „octave smoothing“)

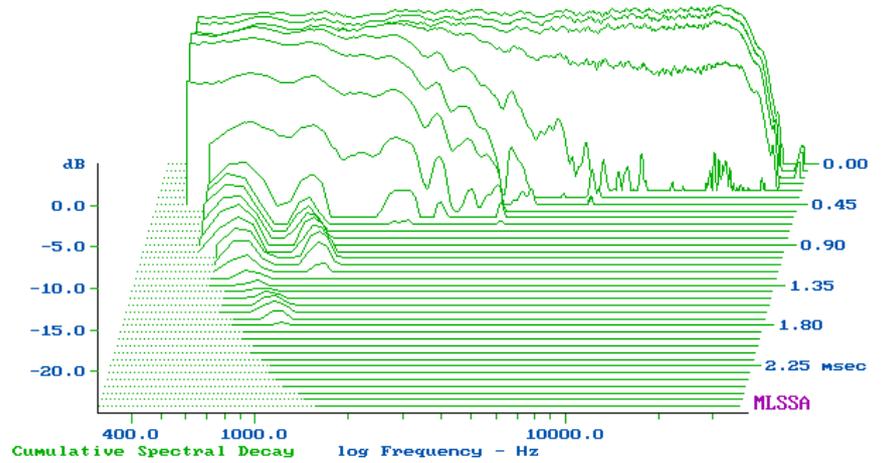


# Waterfall-Darstellungen

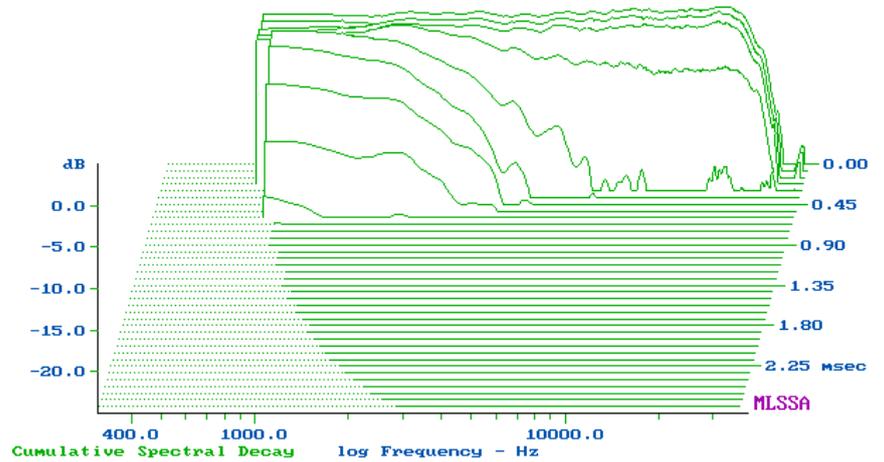
## Drei Waterfall-Darstellungen

**nuLine 34**, drei Mal identisch aufgestellt.  
 (Stativ 90 cm, Mikrofon-Abstand 1 m,  
 Mik-Position: Höhe Hochtöner,  
 Winkel 10°).  
 Durch unterschiedliche Filter- und  
 Glättungsmethoden ist fast jedes  
 „gewünschte“ Endergebnis darstellbar.  
 Für Direktvergleiche sind also **exakt  
 gleiche** Messbedingungen erforderlich.

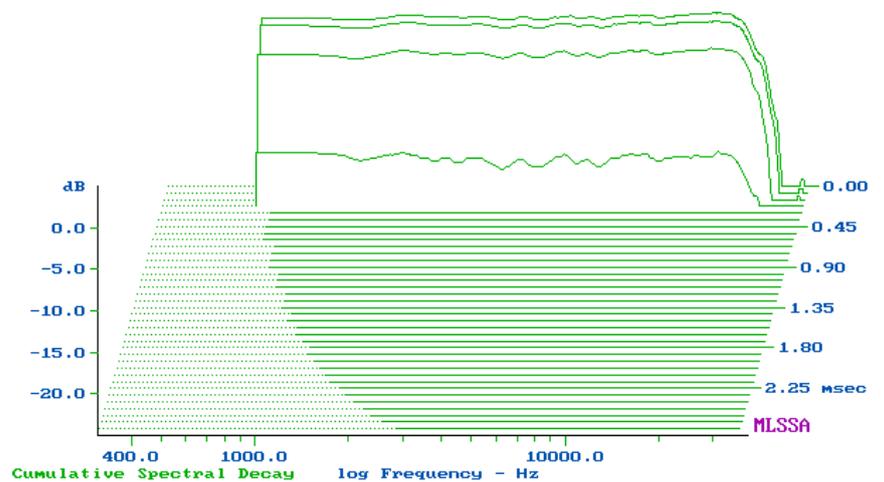
nuLine 34: Waterfall  
 gemessen mit  
 „rectangular window“ 3 ms



nuLine 34: Waterfall  
 gemessen mit  
 „adaptive window“ 3 ms



nuLine 34: Waterfall  
 mit „geglättetem Signal“  
 (octave smoothing 0,1 oct)  
 und „adaptive window“ 3 ms

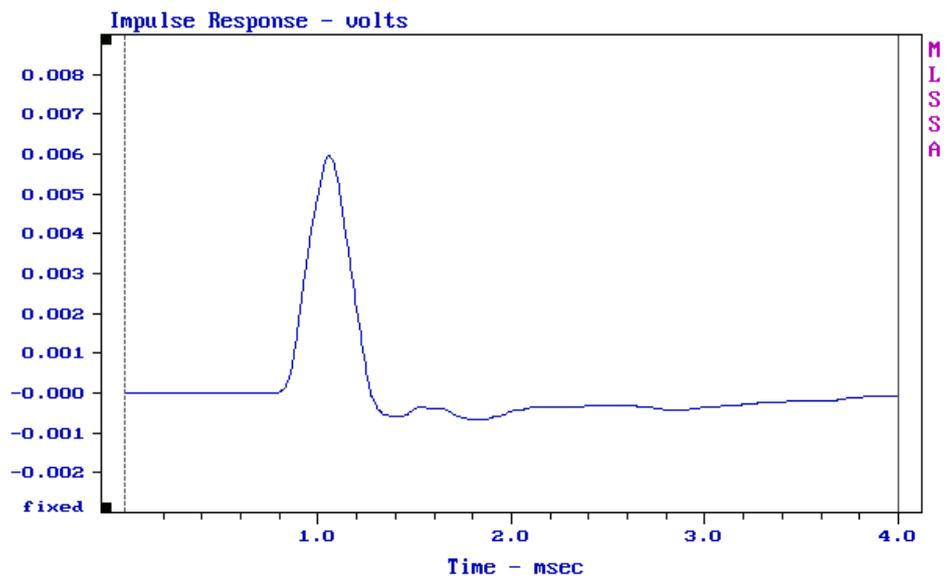


# Ausschwingverhalten eines hochwertigen Tief/Mittelton-Lautsprechers mit unterschiedlich aufwendigen Tieftöner-Weichen

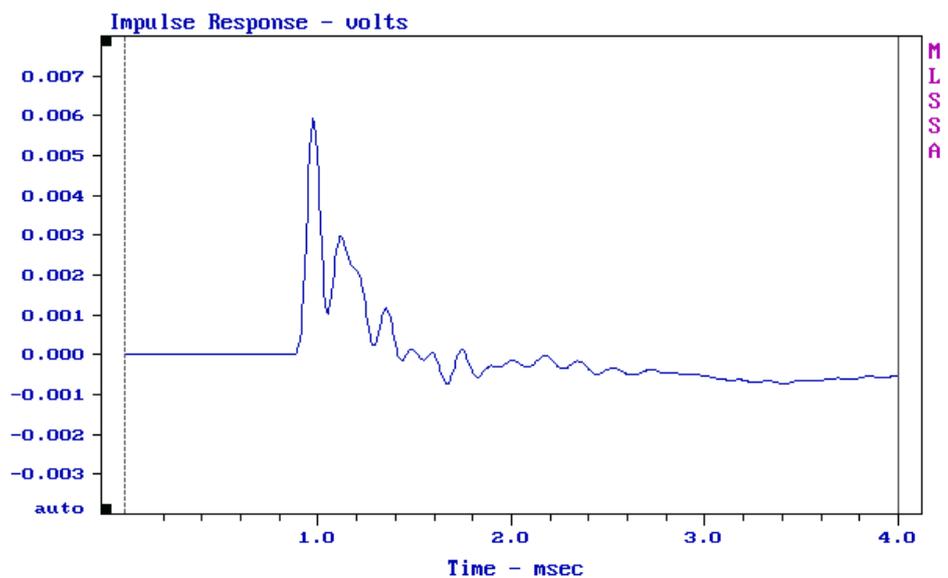
Akustisches Signal, Mikrofon-Abstand 30 cm

Nadelimpuls des Tief/Mitteltöners der bis 2014 gebauten nuVero 4 mit 19 exakt dimensionierten Frequenzweichen-Bauteilen im Tieftonzweig.

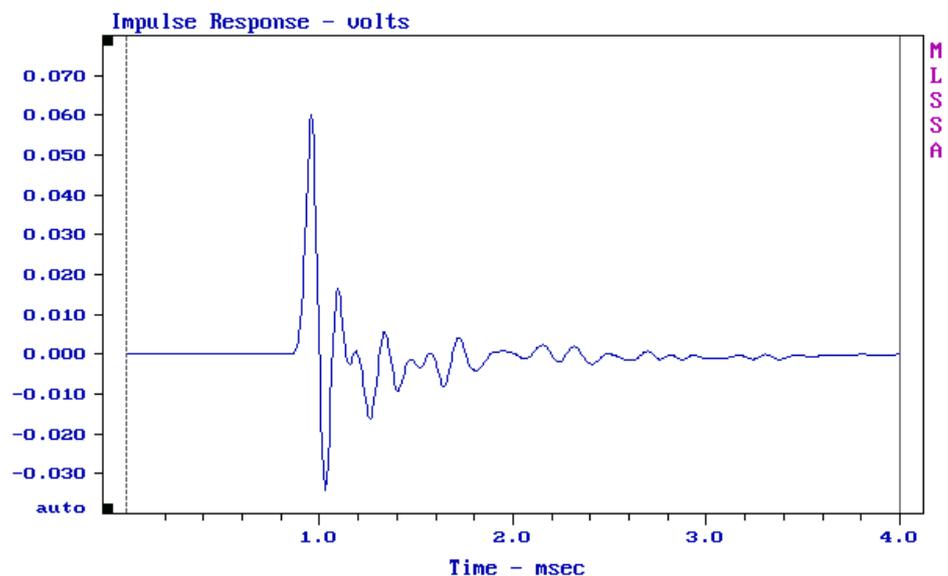
Mit hervorragenden Chassis und sauber konstruierten, aufwendigen Weichen lässt sich präzises Ein- und Ausschwingverhalten bei praktisch jeder gewünschten „Eckfrequenz“ einstellen.



Nadelimpuls des gleichen Tief/Mitteltonlautsprechers mit 6-dB-Weiche.



Nadelimpuls des gleichen Tief/Mitteltonlautsprechers ohne Weiche.

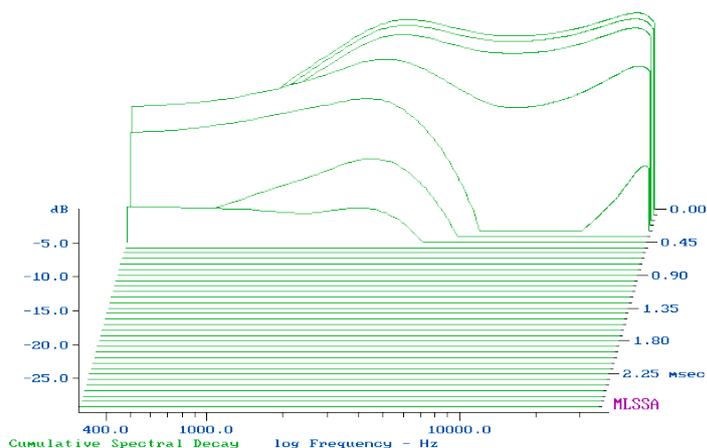


# Ausschwingverhalten unterschiedlich aufwendiger Hochtönerweichen

(„Elektrisches“ Signal am Weichen-Ausgang)

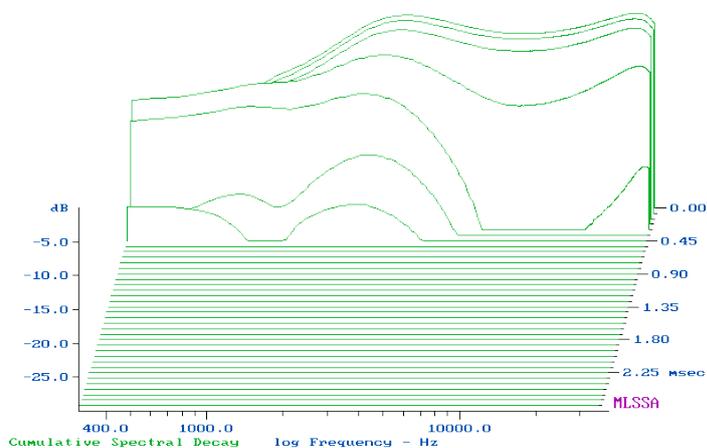
**nuBox383 Hochtönerweiche mit  
angeschlossenem Hochtonlautsprecher  
(mit Ferrofluiddämpfung).**  
mit 10 Bauteilen im Hochton-Zweig

Die Weiche linearisiert den Frequenzgang  
des Hochtonlautsprechers und hat sehr gute  
Dämpfungseigenschaften im Bereich der  
Hochtönerresonanzfrequenz.



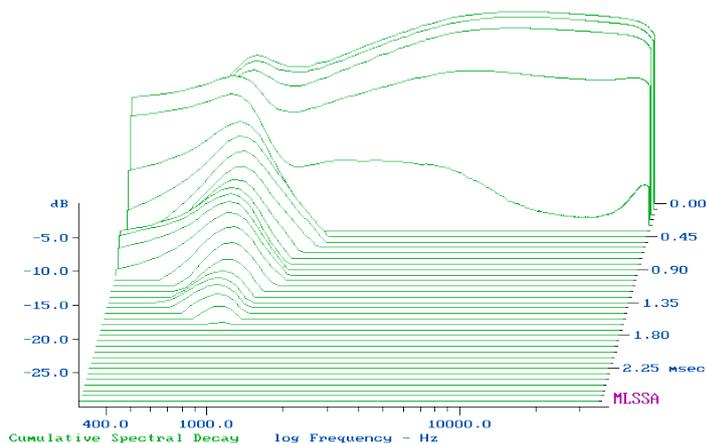
**nuBox383 Hochtönerweiche mit  
angeschlossenem Hochtonlautsprecher  
(ohne Ferrofluiddämpfung).**

Die Weiche hat so gute Dämpfungseigenschaften,  
dass damit auch ein Hochtöner ohne Ferrofluid-  
dämpfung sehr gute Ergebnisse liefert.



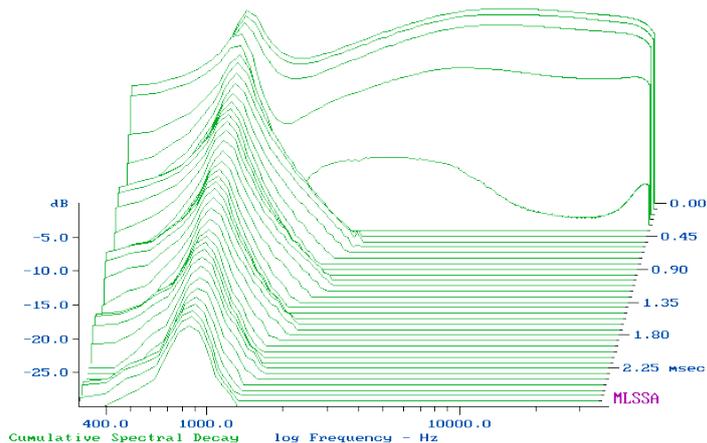
**6-dB-Weiche mit angeschlossenem  
Hochtonlautsprecher mit Ferrofluiddämpfung.**  
(mit 6,8 µF Audyn-Cap-Folienkondensator)

Deutlich verzögertes Ausschwingen  
im Bereich der Hochtönerresonanzfrequenz.



**6-dB-Weiche mit angeschlossenem  
Hochtöner ohne Ferrofluiddämpfung.**  
(mit 6,8 µF Audyn-Cap-Folienkondensator)

Problematisches Ausschwingverhalten im Bereich der  
Hochtönerresonanzfrequenz.



# Kommentar zu Messverfahren/Messprotokollen

## „Querverbindungen“ zwischen Messverfahren und Hörtests

In einigen HiFi- und vielen High-End-Magazinen herrscht die Ansicht vor, dass es nur auf den Klangeindruck eines Lautsprechers oder einer HiFi-Komponente ankommt – und dass man getrost auf Messwerte verzichten kann, weil dem Hörvermögen eines erfahrenen Testers höhere Priorität eingeräumt wird.

Das Problem bei Hörtests ohne Quervergleich zu Messungen ist jedoch die Subjektivität der Autoren eines Tests, die manchmal auf Details sensibilisiert sind, die aus der Sicht *anderer* Hörer für den Klang eher zweitrangig sind, während wirklich wichtige Aspekte außer Acht gelassen werden.

Häufig werden Lautsprecher in den Himmel gelobt, die aus der Sicht einer *weiteren* erfahrenen Hörergruppe einen ausgeprägten „Eigenklang“ haben und die, aus der Sicht eines Messtechnikers betrachtet, beinahe schon als „bedenkliche“ Konstruktionen bezeichnet werden können. Durch eine Messung des Frequenzganges könnte man schnell erkennen, dass es sich nicht um eine „wirklich gute“ Box handeln kann.

Es gibt beispielsweise recht teure Boxen (über 5000 Euro/ Paar), bei denen gehörmäßig im oberen Mittenbereich eine ganze Oktave fehlt, weil hier der Schallpegel relativ zu den anderen Frequenzbereichen um bis zu 10 dB abgesenkt ist (also von der Schall-Leistung nur noch 10% vorhanden ist). Wenn dieser Lautsprecher dann im Klang als „sehr gut“ bewertet wird, liegt mit großer Wahrscheinlichkeit ein Fehlurteil vor.

Trotzdem können auch Testberichte ohne Messprotokolle aufschlussreich sein – gerade dann, wenn in weiteren Zeitschriften dasselbe Produkt unter Erstellung von Messwerten und Messdiagrammen beurteilt wurde. Oder auch, wenn der Testredakteur schon seit Jahren für seine Kompetenz und Glaubwürdigkeit einen guten Ruf genießt.

Vor allem bei Tests einiger Fachzeitschriften aus dem professionellen Beschallungsbereich gibt es so gute Dokumentationen praktisch aller wichtiger messtechnischer Parameter, dass damit eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messwerten und Klangqualität erreicht wird.

Wenn erfahrene Fachleute den Aufbau eines Lautsprechers kennen, beispielsweise die Anzahl, Anordnung und Trennfrequenzen der Tieftöner, können sie schon allein aufgrund der Messdiagramme recht genau vorhersagen, wie gut dieser Lautsprecher klingen wird. Leider sind kaum Messungen üblich, die etwas darüber aussagen, wie stark ein Lautsprecher mit dem Raum „kommuniziert“. Große Boxen, deren Tieftöner bis mindestens 200 Hz hinaufreichen und „in einer Zeile“ angeordnet sind, klingen im Wohnraum deutlich unterschiedlich und meist besser als Lautsprecher, die nur über ein einziges Tieftonchassis verfügen. Der Klang einer Box verändert sich durch unterschiedliche Wand- oder Bodenabstände zum Tieftöner beträchtlich.

### FREQUENZGANG

Der Frequenzgang ist sicher die wichtigste Messung zur Begleitung und Abrundung eines Hörtests. Das heißt also, dass für eine neutrale Klangbeurteilung einer Box die Kenntnis des Frequenzverlaufes – bei möglichst mindestens drei unterschiedlichen Abstrahlwinkeln – fast unverzichtbar ist.

Allerdings ist linearer Frequenzgang *allein* noch keine Garantie für guten Klang (es gibt zum Beispiel unangenehm metallisch klingende Discoboxen, die sich recht linear messen, bei denen die Impulse im oberen Mittenbereich jedoch viel zu langsam abklingen).

**Wenn eine Box wirklich gut klingen soll, darf sie aber keinen zerklüfteten Frequenzgang haben!**

Technisch interessierte HiFi-Fans stellen häufig fest, dass fast jeder Hersteller und fast jede Testzeitschrift unterschiedliche Messverfahren und Glättungsmethoden für die Darstellung ihrer

Frequenzgänge anwenden. Es erfordert fast wissenschaftlichen Spürsinn, wenn man diese Ergebnisse exakt miteinander vergleichen möchte (siehe Seite 63).

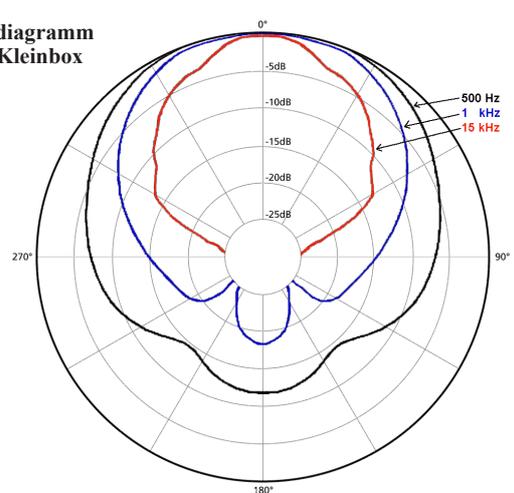
Für die Beurteilung, ob die gemessenen Lautsprecherfrequenzgänge mit dem Ergebnis eines Hörtests „harmonieren“, ist es nicht sehr bedeutend, ob die Messkurven mehr oder weniger stark geglättet sind, weil schmale Welligkeiten der Kurve gehörmäßig nicht so stark ins Gewicht fallen.

Bei Frequenzgangmessungen im Bassbereich kommen handwerkliche Fehler relativ oft vor: Durch nicht richtig bewertete Bassreflexöffnungen, durch unpräzise Messabstände oder durch die Vernachlässigung der Oberwellen, die im Tiefbass häufig sehr hohe Pegel haben.

### ABSTRAHLVERHALTEN (DIRECTIVITY)

Wenn vorausgesetzt werden kann, dass ein Lautsprecher den geforderten Schallpegel verzerrungsarm liefert, ist das Abstrahlverhalten neben dem Frequenzgang (zum Beispiel „auf Hochtönerachse“) das Kriterium mit der aussagekräftigsten Querverbindung zu einem Hörtest. Dabei handelt es sich prinzipiell um die Darstellung *vieler* Frequenzgangmessungen über einen großen Abstrahlwinkelbereich. Früher war die Darstellung des Abstrahlverhaltens durch eine Reihe von Polardiagrammen (mit je bis zu etwa sechs einzelnen Frequenzen) üblich.

Polardiagramm einer Kleinbox

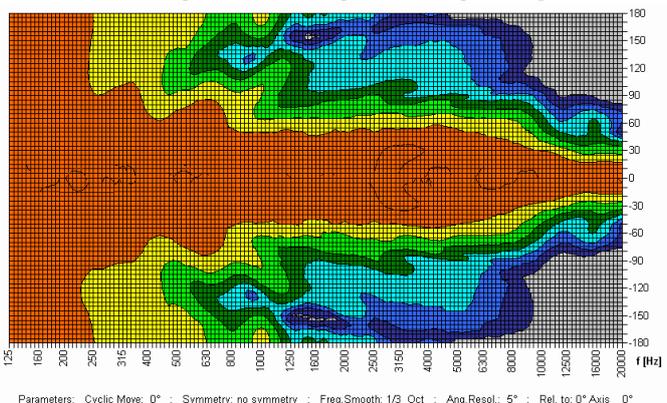


Seit einigen Jahren können die Abstrahleigenschaften im gesamten Frequenzbereich mit einem Isobarendiagramm über horizontale oder vertikale Winkel dokumentiert werden.

Die Skalierung der Isobarendarstellung geht meistens über die Bereiche von  $\pm 60$ ,  $\pm 90$  oder  $\pm 180$  Grad.

Damit sieht man auf einen Blick, in welchem Maß eine gebündelte oder breite Abstrahlung über sämtliche Frequenzen vorliegt.

Isobarendarstellung eines hochwertigen Zwei-Wege-Lautsprechers



**ECKFREQUENZ/ÜBERTRAGUNGSBEREICH/  
CUT-OFF FREQUENCY**

Die Eckfrequenzen, die den Übertragungsbereich eines Lautsprechers innerhalb zweier Grenzen definieren, sind eigentlich schon aus dem Frequenzgang erkennbar. Nur ist es bei „Heimlautsprechern“ eher die Ausnahme, dass in Katalogen und Prospekten der Frequenzgang (in Zahlenwerten oder mit einem Messprotokoll) angegeben wird.

Im Studiobereich wird der Übertragungsbereich meist für die *-3-dB-Punkte* angegeben – manchmal auch für *-6 dB*.

Es gibt aber Prospektangaben, die es HiFi-Fans und technisch weniger interessierten Musikliebhabern recht schwer machen, den Überblick zu behalten:

Einige HiFi-Lautsprecherhersteller geben den Übertragungsbereich ihrer Boxen noch immer nach der „historischen“ HiFi-Norm DIN 45500 an. Sie wurde 1999 zurückgezogen, nachdem die Norm IEC 268-5 bereits 1989 herauskam. Die wurde 1994 vom Europäischen Normungs-Komitee (CENELEC) angenommen und erschien 1996 als DIN-EN 60268-5.

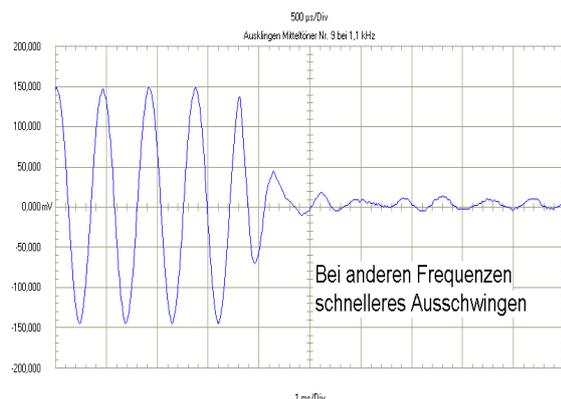
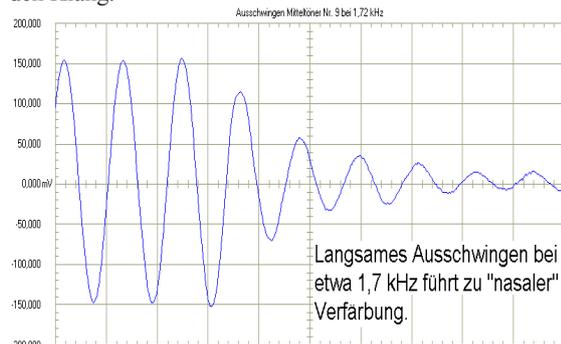
Die alte DIN-Norm war unserer Meinung in diesem Punkt etwas schwammig formuliert und erlaubte zum Beispiel für einen Lautsprecher mit dem *-3-dB-Punkt bei 80 Hz* die unglaubliche Angabe „*22 bis beispielsweise 30.000 Hz*“.

Selbst die neue DIN-EN-Norm lässt für den Übertragungsbereich den (unserer Meinung völlig unrealistischen) *-10-dB-Punkt* zu, bei dem die abgestrahlte Schallleistung nur noch *10%* gegenüber der Leistung im mittleren Frequenzbereich beträgt.

**BURST-IMPULSVERARBEITUNG/WATERFALL/  
SPECTROGRAMM**

Eine unsaubere Impulsverarbeitung bei unterschiedlichen Frequenzen geht stark in das Klangempfinden ein.

Oft haben Störungen durch Resonanzen, die bei der Frequenzgangmessung nicht sehr auffällig sind, deutliche Auswirkungen auf den Klang.



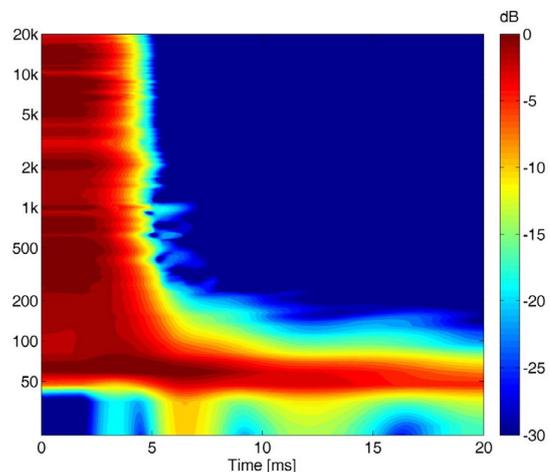
**Ausschwingen eines Mitteltöners mit nicht optimal bedämpfter Alumembran**

Für eine lückenlose Aussagekraft über dieses wichtige Thema wären *Hunderte* von Impuls- und Burst-Messungen nötig. Einige wenige stichprobenartige Messungen, bei jenen Frequenzen, bei denen die Frequenzgangmessungen gewisse „Sprünge“ zeigen, hätten aber schon einen recht hohen Informationswert.

Ein kleiner Anfang ist mit dem sogenannten **Waterfall-Diagramm** gemacht, das allerdings fast willkürlich „gebügelt“ werden kann (siehe Seite 64). Im Mittel- und Hochtonbereich kann damit immerhin (aber nur im *Direktvergleich*) zumindest die Ausklingzeit eines impulsartigen Klanges – in Abhängigkeit von der Frequenz – näherungsweise beschrieben werden (dabei bleiben allerdings die Phasenverhältnisse unberücksichtigt).

Zum *Ausklingen im Bassbereich* und zum *Einschwingen* (im gesamten Frequenzbereich) sind Messdiagramme zurzeit noch nicht üblich.

Vor allem im Bereich der professionellen Beschallungstechnik löst das (meist farbige) Spectrogramm langsam das Waterfall-Diagramm ab, weil damit noch feinere Strukturen erkennbar sind.



**Spectrogramm kleiner, recht guter 2-Wege-Lautsprecher**

**MAXIMALPEGEL/KLIRRFAKTOR/BELASTBARKEIT**

Eine gut konstruierte Kompaktbox wie die nuLine 34 erreicht in 1 m Abstand bei (relativ „gutmütigen“) *3% Klirr* über *105 dB* im Frequenzbereich ab etwa *80 Hz* bis über die obere Hörgrenze.

Ein kleiner, gut konstruierter Standlautsprecher wie die nuLine 84 erreicht über *110 dB*. Bei den Messungen der Maximallautstärke im Hochtonbereich muss man berücksichtigen, dass es bei Musik- und Sprachwiedergabe immer nur *kurze Impulse* mit hohen Pegeln gibt. Eine Klirrfaktormessung mit „Dauertönen“ ist deshalb für diese Messung nicht praxisgerecht. (Wir messen den Hochtonklirr bei Burst-Signalen mit einem zeitlichen „ON“-Anteil von *10%*.)

Bei *zwei* Lautsprechern erhöht sich der Schallpegel (je nach Abstand der Lautsprecher voneinander und der Aufstellung im Raum) um etwa *3 bis 6 dB*. Dazu kommt noch ein „Begrenzungsflächeneffekt“, der sich dadurch ergibt, dass ein Lautsprecher tiefe Töne kugelförmig abstrahlt. Steht der Lautsprecher auf dem Boden, taucht die Energie der unteren „Halbkugel“, die den Boden nicht durchdringen kann, in der oberen „Halbkugel“ auf, was eine Schalldruckerhöhung von *3 dB* ergibt. Steht der Lautsprecher auf dem Boden *und* an der Wand, ergibt das *+6 dB* gegenüber der Aufstellung frei im Raum.

Die Oberwellen (Klirrfaktor), die ein Lautsprecher verursacht, sind – bei gleichen „Prozentwerten“ – gehörmäßig meist wesentlich „harmloser“ als der Klirrfaktor eines Verstärkers. Weil Lautsprecher zum allergrößten Teil nur die zweite und dritte

Oberwelle zum Klang hinzufügen, sind auch Werte um 3% kaum hörbar.

Trotzdem haben wirklich gute Standlautsprecher bei Pegeln von 105 dB (1 m) im gesamten Frequenzbereich (oberhalb ca. 100 Hz) Klirrfaktoren von merklich unter 1% . Bei 100 und 95 dB liegen sie unter 0,5 bzw. 0,2%.

Unterhalb etwa 100 Hz steigen die Klirrfaktoren großer Standlautsprecher mehr oder weniger gleichmäßig an. Bei 50 Hz liegen typische Werte bei 95 und 100 dB (1 m) im Bereich 10% und 25%. Sehr gute Modelle erreichen bei 50 Hz und 95 dB etwa 3% Klirr, bei 105 dB ca. 10%.

Die Belastbarkeit sagt zunächst nichts über Verzerrungswerte aus. Sie zeigt nur, wie viel Leistung ein Lautsprecher aushalten kann, ohne dabei zerstört zu werden. Solange ein Lautsprecher linear arbeitet, bringt er bei einer Verdoppelung der Verstärkerleistung einen Pegelzuwachs von 3 dB.

### LAUTSPRECHERBELASTUNGSTESTS

In Deutschland gilt dafür die Norm DIN EN 60268-5. Sie enthält die deutsche Übersetzung der internationalen Norm IEC 268-5 + A1 + A2. Im Kapitel 18 „elektrische Eingangsleistung“ werden vier verschiedene Leistungsarten definiert, die eine Lautsprecherkombination verarbeiten kann, ohne bleibenden Schaden zu nehmen:

• **Maximale Kurzzeiteingangsleistung**

Höchste Leistung, die die Lautsprecherkombination 1 Sekunde lang verarbeiten kann. (Spezielles, in IEC 268-1 definiertes rosa Rauschen) Prüfungsdauer: 60 mal 1 Sekunde mit jeweils 1 Minute Pause zwischen den Signalen.

• **Maximale Langzeiteingangsleistung**

Die Höchstleistung, die die Lautsprecheranordnung 1 Minute lang verarbeiten kann. (rosa Rauschen nach IEC 268-1) Prüfungsdauer: 10 mal 1 Minute mit jeweils 2 Minuten Pause.

• **Nennsinusleistung**

Die vom Hersteller angegebene Leistung eines im Nennfrequenzbereich liegenden Dauersinussignals, das der Lautsprecher im Dauerbetrieb verarbeiten kann. Die Leistung gilt als Grenzwert für Messungen mit Sinussignalen während eines angegebenen Zeitraumes.

Prüfungsdauer: Wenn kein Zeitraum angegeben wird, darf er höchstens eine Stunde betragen.

• **Nennrauschleistung**

Die vom Hersteller angegebene Leistung eines Rauschsignals, das innerhalb des Nennfrequenzbereiches normales Programmmaterial nachbildet, die der Lautsprecher verarbeiten kann. Prüfungsdauer: 100 Stunden lang ununterbrochen, oder intermittierend 300 Stunden, wobei das Messsignal in regelmäßiger Folge jeweils 1 Minute ein- und 2 Minuten auszuschalten ist.

### WIRKUNGSGRAD/KENNSCHALLDRUCK/ BETRIEBSLEISTUNG

Ein typischer HiFi-Lautsprecher hat einen recht geringen Wirkungsgrad in der Größenordnung von etwa 0,2 bis 0,5% (auch abhängig vom Rundstrahlverhalten). Manche Hersteller behaupten, ein hoher Wirkungsgrad sei günstig für die erreichbare Klangqualität. Unsere Erfahrungen zeigen eher das Gegenteil. Einerseits können bei Lautsprechern mit vergleichsweise geringem Wirkungsgrad die Eigenresonanzen besser bedämpft werden, andererseits reichen die Frequenzgänge dann tiefer in den „Basskeller“.

Der Kennschalldruck eines Lautsprechers wird üblicherweise definiert als der Schalldruck, der sich beim Anlegen von 2 oder 2,83 V an eine 4- oder 8-Ohm-Box (also bei 1 W) in 1 m Abstand ergibt. Seit einigen Jahren wird diese Definition aber zunehmend aufgeweicht, weil es eine Reihe von Herstellern und Akustiklabors gibt, die „stillschweigend“ die 2,83 V auch an 4-Ohm-Lautsprecher anlegen, was dann 2 Watt entspricht – damit werden also 3 dB hinzu „geschummelt“.

Häufig werden 4-Ohm-Boxen in Prospektangaben auch einfach zu 8-Ohm-Boxen erklärt, womit die Leistungsverdopplung bei der Schalldruckmessung logischer erscheinen soll.

Die Angabe der Betriebsleistung ist eher „historisch“ und inzwischen recht selten. Ohne die zugehörige Leistungsangabe und Messentfernung ist sie darüber hinaus inzwischen wertlos, weil es dafür keine aktuelle Definition gibt. Ursprünglich war damit die erforderliche Verstärkerleistung für 86 dB im Abstand 3 Meter gemeint (für eine Punktschallquelle im Freifeld). Später für 96 dB/1 m, was nur 0,46 dB Pegelunterschied (also 5,44% größerer Spannung beziehungsweise rund 11,2% höherer Leistung) entspricht. In letzter Zeit taucht ab und zu die Leistung für 86 oder 91 dB in 1 m Abstand auf.

Ein 4-Ohm-Lautsprecher mit 86 dB/1 m/1 W hat also eine Betriebsleistung von ca. 9 Watt für 86 dB/3m, 10 Watt für 96 dB/1m, 1 Watt für 86 dB/1 m.

### PHASENGANG/GRUPPENLAUFZEIT/ SPRUNGANTWORT

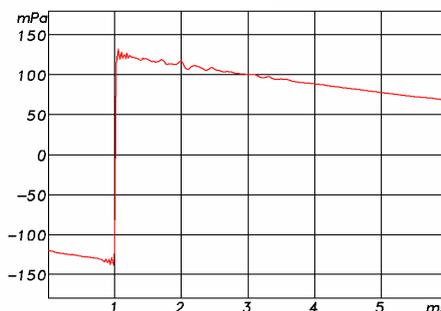
Die Hörbarkeit von Phasenverlauf und „group delay“ wird ja schon auf Seite 16 ausführlich beschrieben.

Es ist fast unglaublich, lässt sich aber in aufwendigen Hörtests immer wieder bestätigen: die beiden Zwei-Wege-Boxen mit den nachfolgenden Diagrammen lassen sich im Mittel- und Hochtonbereich klanglich kaum voneinander unterscheiden. Sie haben beide die Trennfrequenz bei 2 kHz. Erst bei Übergangsfrequenzen unterhalb etwa 1,2 bis 1,5 kHz – also bei fast allen Drei- oder Mehr-Wege-Konstruktionen – sorgen die sichtbaren Nachteile im Diagramm der „schlechteren“ Sprungantwort auch für hörbare Verschlechterung der Klangqualität (Seite 42).

Besonders deutlich sind die Unterschiede bei der Ankopplung von Subwoofern an Satellitenlautsprecher (Seite 49 und 58).



nuLine 34 passiv



nuLine 34 mit  
FIR-Filter-Setup

# 8-Ohm-Verstärker mit 4-Ohm-Boxen?!

Beispiele und Vergleich von fünf Lautsprechern mit den Impedanz-Angaben 4 Ω, 4–8 Ω, 8 Ω

Vor einigen Jahren war es noch ganz einfach:

Die Ohmangabe auf der Box sollte nicht kleiner als die Ohmangabe auf dem angeschlossenen Verstärker sein – das galt zumindest bis etwa 1988.

Inzwischen hat sich aber einiges verändert.

Zunächst eine kurze Beschreibung, was es mit der Ohmangabe auf sich hat:

Je niedriger die Impedanz eines Lautsprechers ist, desto höher sind Strom und Leistung, die vom Verstärker geliefert werden. (Wenn die Lautstärkeeinstellung nicht verändert wird.)

Zu hohe Ströme konnten bei älteren Verstärkern manchmal zu durchgebrannten Schmelzsicherungen führen. Im Extremfall auch zu defekten Endstufentransistoren. Bei höheren Leistungen entsteht auch mehr Wärme im Verstärker.

Die Impedanz, die in Ohm angegeben wird, ist jedoch kein konstanter Wert, sondern frequenzabhängig.

Deshalb wurde schon vor etwa 40 Jahren in den DIN- und IEC-Normen für Lautsprecher der Begriff „Nennscheinwiderstand“ oder „Nennimpedanz“ eingeführt, dessen Wert bei keiner Frequenz um mehr als 20% unterschritten werden darf.

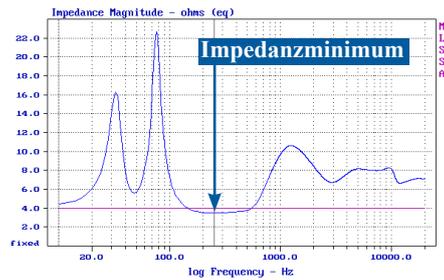
Seit etwa 1990 achten fast alle namhaften Verstärkerhersteller sehr darauf, dass ihre Geräte durch Kurzschluss an den Ausgängen oder durch das Anschließen von Lautsprechern mit zu geringem Widerstand keinen Schaden mehr erleiden.

Das ist wohl der Grund dafür, dass einige Lautsprecherhersteller dazu übergegangen sind, die immer noch sinnvolle Angabe der Nennimpedanz durch Angaben zu ersetzen, die nach den geltenden IEC- und DIN-Normen entweder sehr missverständlich formuliert – oder gar nicht zulässig sind.

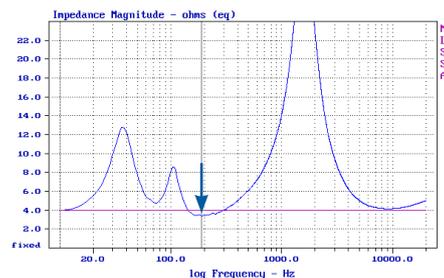
So werden in den Prospektangaben, in den Bedienungsanleitungen und sogar auf den Typenschildern auf der Boxenrückseite aus ganz normalen 4-Ohm-Lautsprechern plötzlich 8-Ohm-Boxen gemacht!

Es ist inzwischen gar nicht mehr so leicht, echte 8-Ohm-Boxen zu finden! Selbst die Angabe „Nominal Impedance 8 Ohm“ bedeutet noch lange nicht, dass es sich wirklich um eine 8-Ohm-Box handelt – was ohne Hinweis auf das tatsächliche Impedanzminimum gegen die geltenden DIN- oder IEC-Normen verstößt.

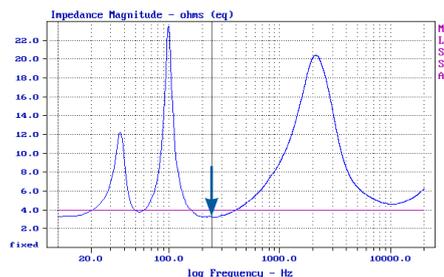
Jeder Hersteller könnte natürlich seine Boxen auf echte 8 Ohm umrüsten, dabei würde er jedoch einerseits 30 bis 40 % der Leistung eines 4-Ohm-Verstärkers verschenken, andererseits gegenüber einer 4-Ohm-Konkurrenz-Box bei Direktvergleichen im Klang deutlich schlechter beurteilt werden. (Bei Klangvergleichen ohne Pegelanpassung hat eine mit halber Leistung betriebene Box oft keine Chance – selbst wenn sie merklich besser konstruiert sein sollte.)



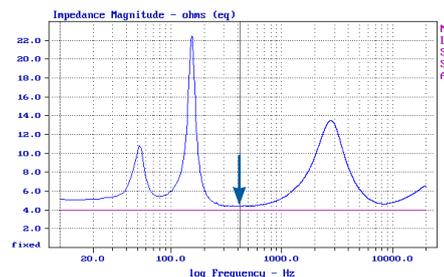
**Nubert nuLine 34. Werksangabe: 4 Ohm.** Impedanzminimum bei 3,51 Ohm, also im erlaubten Bereich (3,2 Ohm dürfen nicht unterschritten werden)



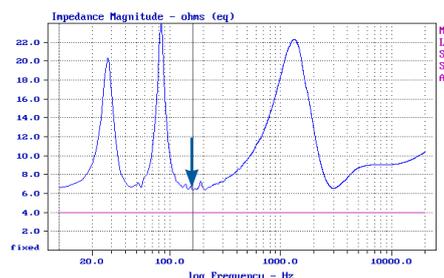
**Box eines der bekanntesten deutschen Hersteller. Werksangabe: 4–8 Ohm.** Minimum bei 3,37 Ohm – also eine „ganz normale“ 4-Ohm-Box



**Box eines der bekanntesten englischen Hersteller. Werksangabe: 8 Ohm.** Erlaubtes Minimum wäre 6,4 Ohm, ist aber bei 3,17 Ohm!



**Box eines sehr bekannten US-amerikanischen Herstellers. Werksangabe: 8 Ohm.** Erlaubtes Minimum wäre 6,4 Ohm, liegt aber bei 4,32 Ohm!



**Box eines sehr bekannten japanischen Herstellers. Werksangabe: 8 Ohm.** Erlaubtes Minimum wäre 6,4 Ohm; gemessen wurde knapp über 6,4 Ohm, also o.k. Das ist eine der seltenen echten 8-Ohm-Boxen!

### Zusammenfassung der Aussagen über Boxenimpedanzen

Sehr viele der neueren von uns untersuchten Boxen mit der Impedanzangabe „8 Ohm“ und alle Boxen mit der Angabe „4 bis 8 Ohm“ sind ganz normale 4-Ohm-Boxen und deshalb an einem 8-Ohm Verstärker genauso kritisch oder unkritisch wie eine Box mit der Angabe „4 Ohm“.

- Bei Boxen mit der Angabe „Impedanz 4 Ohm“ sollte man davon ausgehen können, dass damit meistens die genormte Nennimpedanz (mit einem erlaubten Minimum von 3,2 Ohm) gemeint ist. (Ausnahmen sind jedoch manche Lautsprecher aus dem High-End-Bereich oder amerikanischer Herkunft, die mitunter sogar den Wert von 2 Ohm unterschreiten können.)

- Eine Box mit der Angabe Impedanz „4 bis 8 Ohm“ ist immer eine ganz normale 4-Ohm-Box! (Die Angabe „4 bis 8 Ohm“ ist also Unsinn, was auch immer wieder von Stiftung Warentest bestätigt wurde!)

- Sehr viele Boxen mit der Angabe „8 Ohm“ sind in Wirklichkeit ganz normale 4-Ohm-Boxen. Vor allem bei englischen (und bei in Fernost gebauten Lautsprechern mit bekannten englischen Markennamen) gibt es selbst bei der Angabe „Nominal Impedance 8 Ohm“ manchmal Impedanzminima von *noch unter 3,2 Ohm* – was sogar für 4-Ohm-Boxen gerade nicht mehr „erlaubt“ wäre!

Durch diese Fehlangaben wird dann auch gleich nebenbei der Wirkungsgrad der Box in den Prospektangaben gegenüber dem *echten Wert* einfach verdoppelt! (Weil dann die erzielte Lautstärke bei der Eingangsleistung von 2 Watt – statt mit 1 Watt – an 4 Ohm gemessen wird.)

### Einige Argumente gegen die Ängste, die durch „Warnungen“ vor 4 Ohm-Lautsprechern an 8-Ohm-Verstärkern hervorgerufen werden (zum Beispiel in den Bedienungsanleitungen von Surround-Receivern)

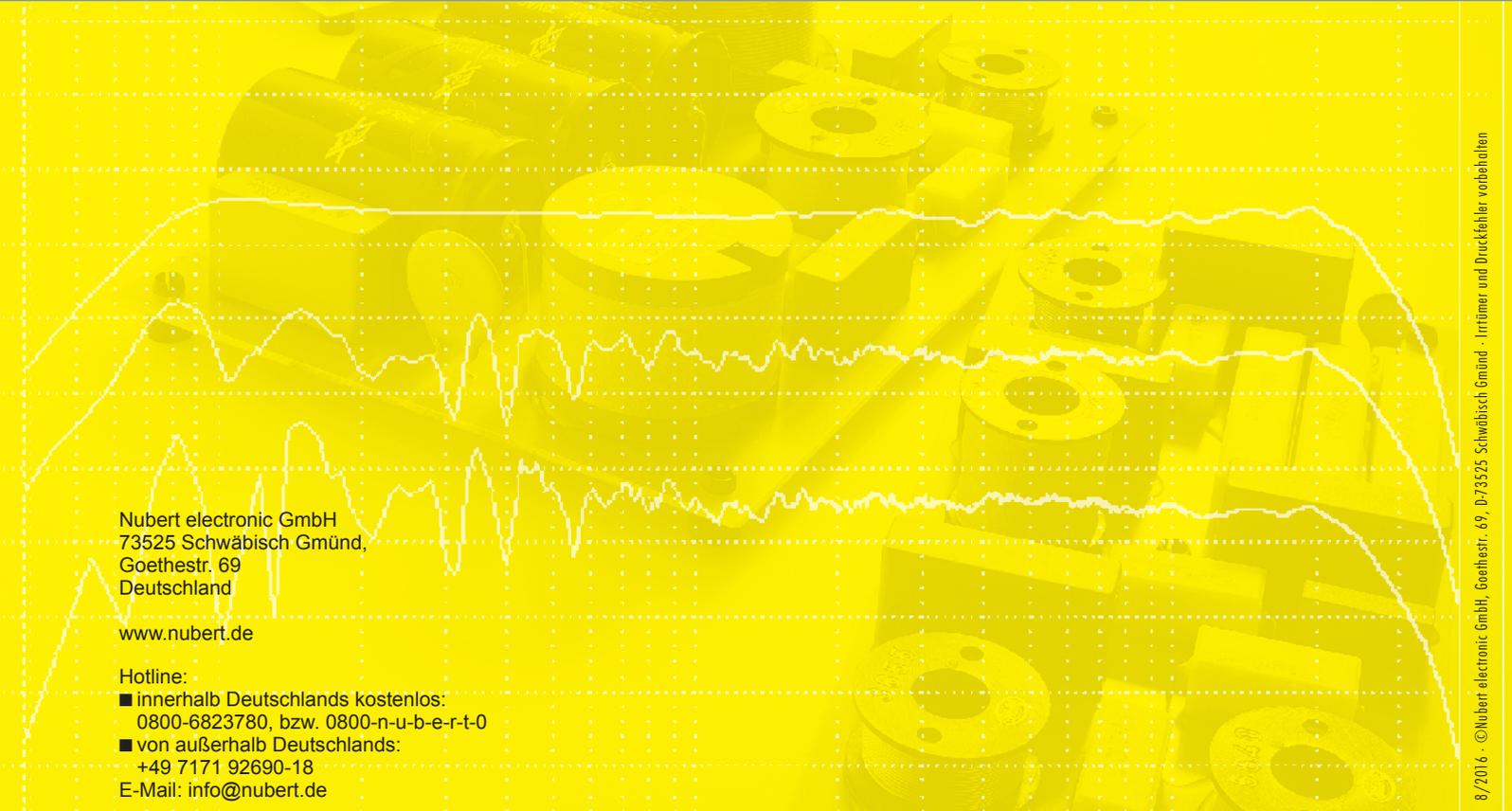
Wir zitieren hierzu die Aussagen einer renommierten Fachzeitschrift:

„...und eine Garantie dürfen aus rein juristischen Gründen auch wir nicht geben, dass sich Ihr Verstärker oder Receiver mit 4-Ohm-Boxen verträgt. Wir können nur eine Erfahrung weitergeben: Seit mehreren Jahren findet der Hörtest ausschließlich mit 4-Ohm-Lautsprechern statt, und es trat dort noch kein einziger Defekt auf, obwohl die Geräte bis an ihre Grenzen getrieben werden. Zudem messen wir ungeachtet der Vorschriften der Hersteller jedes Gerät an vier und acht Ohm, und dabei ist die Belastung ebenfalls erheblich. Ausfälle wegen zu geringer Lastimpedanz fielen im Messlabor schon lange nicht mehr auf ...“

### Zu erwartende Probleme bei Impedanzunterschreitung, wenn relativ moderne Markenverstärker verwendet werden

Bei kleinen und mittleren Lautstärken (bis etwa 40% der maximalen Verstärkerleistung) gibt es *ohnehin keine* Probleme – mit neueren Verstärkern ist das Ganze bei sehr großen Lautstärken meistens ebenso problemlos. Manchmal gibt es aber gewisse „Unsauberkeiten“:

1. Eventuell schaltet der Verstärker im Augenblick einer Impulsspitze für wenige Sekunden ab.
2. Oder der Verstärker klingt (durch die interne Strombegrenzung) bei großen Lautstärken etwas kratziger.
3. Es könnte auch vorkommen, dass der Verstärker nach stundenlangem „Brachial-Einsatz“ wegen Überhitzung für einige Minuten abschaltet. Hier kann ein Ventilator Abhilfe schaffen.



Nubert electronic GmbH  
73525 Schwäbisch Gmünd  
Goethestr. 69  
Deutschland

[www.nubert.de](http://www.nubert.de)

Hotline:

- innerhalb Deutschlands kostenlos:  
0800-6823780, bzw. 0800-n-u-b-e-r-t-0
  - von außerhalb Deutschlands:  
+49 7171 92690-18
- E-Mail: [info@nubert.de](mailto:info@nubert.de)