

...am Beispiel der nuBox-Serie. Die nuWave- und nuLine-Serien sind noch deutlich aufwändiger konstruiert und gefertigt.

Dieses Kapitel ist für technisch interessierte Musikliebhaber und HiFi-Fans gedacht, und baut auf dem Beitrag „Entwicklung Nubert nuBox-Lautsprecherreihe“ von Seite 4 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 der nuBoxen gestellt werden.

### TIEF-MITTELÖNER NUBOX 380/400/580

Beim Basismodell dieser 22-cm-Polypropylenmembran-Tief-töner 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 Hoch-töner 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 aufwändigen 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.

Der damalige 21-cm-Lautsprecher wurde für unsere Design-boxenfamilie „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 „Sinuswellen-Paketen“ (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 ruhen!

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 konsequenten Schritten erzielt werden.

Üblicherweise wird zwar der größte Teil der Impulspräzision durch nicht richtig ausgelegte Weichen und durch Resonanz-Effekte in den Gehäusen verschenkt. Aber auch, wenn man hier alles „richtig“ macht, kommt man üblicherweise 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 Membran-Oberfläche – und damit abgestrahlten Schall.

Wir haben viele Jahre lang versucht, das Problem mit *Gegenkopplung* und riesigen Verstärkerleistungen in den Griff zu bekommen. Die erzielbaren Verbesserungen waren durch die eingesetzte „rohe Gewalt“ aber sehr gering; dafür gab es häufig abgerissene Schwingspulen von den Lautsprechermembranen.

**Wie sollte es dann doch (zunächst bei einzelnen Frequenzen) funktionieren?**

Erst mit extrem aufwändigen Messanordnungen und mittels Einsatz mehrerer Sondenmikrofone, mit denen wir *Schwingungsdifferenzen* auf der Membrane aufspürten, konnten wir uns diesen Effekt erklären:

Während der Impulsverarbeitung gibt es andere Arten von Partialschwingungen (*kurzzeitige Gegenbewegungen einzelner Membranbereiche*) als im eingeschwungenen Zustand. Die normalerweise *sehr unerwünschten* Partialschwingungen haben bei manchen Frequenzen die (zunächst zufällige) Eigenschaft, dass sich die Schalldrücke aus gegenphasigen Membranbereichen perfekt kompensieren. Es stellte eine große Herausforderung dar, diese Effekte *zu zähmen*, wenn man sie schon nicht vollständig verhindern kann.

Trotz der mühsamen Feinarbeit machte es aber auch irgendwie Spaß, wie dieser sehr komplexe Sachverhalt dann im Laufe der Jahre mit ungeheurem Aufwand auf *reproduzierbar* getrimmt und *zivilisiert* werden konnte.

In 1 cm Abstand des Mikrofons von der Membran kann man noch Teile der üblichen Ein- und Ausschwingprobleme finden. Ab 10 cm dann nicht mehr!

Diese gezielte *Kompensation* von Fehlern in der Impulsverarbeitung funktioniert *praktisch perfekt* bei allen Impulsformen, allen Frequenzen und allen Dynamikbereichen und ist damit jeder uns bekannten Lautsprecher-Regeltechnik oder Gegenkopplung deutlich überlegen. Sie führt jedoch außerhalb des eigentlichen Arbeitsbereiches (oberhalb ca. 2,5 kHz, also im Bereich des „Roll-Off“) zu einem etwas problematischen Verlauf. Wenn man extrem hohe Anforderungen stellt, erfordert das den Einsatz *noch komplexerer* Frequenzweichen.

Auch mit den besten Entwicklungen aller anderer untersuchten und optimierten High-End-Bauarten, wie z. B. 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 endlich ab 1994 für die damalige nuForm-Serie innerhalb der geforderten Toleranzen in Serie gefertigt werden.

Im Sommer 1996 kam es als „Update 5“ auch in der bis 2002 gebauten nuBox 460 zum Einsatz – zusammen mit der extrem aufwändigen Weiche. Im November 1996 wurde der Lautsprecherkorb von 21 cm auf 22 cm vergrößert. In den folgenden Jahren wurde die Impulsbelastbarkeit dieses Chassis so weit

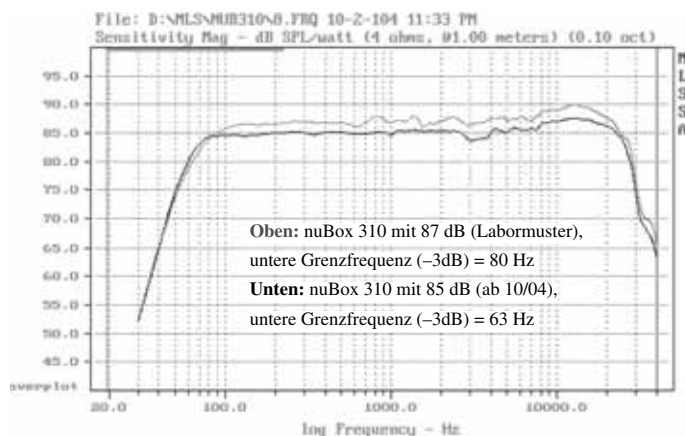
erhöht, dass selbst bei Leistungen von über 400 Watt kein „mechanisches Durchschlagen“ mehr auftreten kann. Dann folgte die Impuls-optimierung der neuen Membrangenerationen.

In den Jahren 2001/02 wurde die „Wirbelstrombremse“, mit der die Magnetsysteme der nuWave-Modelle ausgerüstet sind, auch in die Modelle nuBox 380, 400 und 580 übernommen. Dadurch konnten die Impulsgenauigkeit und die ohnehin schon sehr günstigen Verzerrungswerte im Bassbereich weiter verbessert werden.

## TIEFTÖNER NUBOX 310

Die Spitzenprodukte unter den kleineren Tieftonlautsprechern sind Standardlautsprechern in vielen Punkten überlegen. Im Tiefbassbereich gibt es jedoch keine Vorteile *im Wirkungsgrad*. Bei vorgegebener Sauberkeit und Gehäusegröße kann man im Tiefbass also nicht zaubern.

Wenn man eine kleine Box im Mitten- und Höhenbereich auf den vollen Wirkungsgrad größerer Boxen abstimmt (z. B. 87 dB), hat sie zwangsläufig so wenig Bass, dass sie ohne Subwoofer ausgesprochen dünn und metallisch klingt.



Um eine einigermaßen ausgeglichene Klangbalance erzielen zu können, muss man bei kleinen Boxen also den Pegel im Mitten- und Hochtonbereich *deutlich absenken*. *Genau das* haben wir beim *Winzling* nuBox 310 (mit ihren 11 Litern Bruttovolumen) gemacht. Durch Zurücknehmen des Pegels von 87 auf 85 dB bei 1 Watt in 1 m Abstand, durch den Einsatz des von uns optimierten, hervorragenden 14,5-cm-Tieftöners, (einen der besten, die wir kennen) und einer optimierten Bassreflexabstimmung konnten wir ein sehr erwachsenes Klangbild erreichen.

Gegenüber dem Vorläufer-Modell nuBox 300 sind damit deutlich höhere unverzerrte Pegel möglich, wodurch sich die nuBox 310 auch für mittelgroße Räume eignet. Endlich konnte nun auch die letzte kleine Unsauberkeit des Vorläufers im Mittenbereich überwunden werden. Damit ist diese kleine Box nun so makellos, wie es auch bei doppelt so teuren Lautsprechern nicht oft vorkommt. Gut gemachte Polypropylen-Membranen sind in Verbindung mit einer aufwändigen Weiche den meisten Carbonfiber-, Kevlar-gewebe- oder Metallmembranen überlegen. Wir haben in unserem Labor schon eine Vielzahl von Membranen aus interessanten Hi-Tech-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 Partialschwingungen 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, tragen jedoch langsam Früchte. Es ist absehbar, dass damit dann langsam tatsächlich in *die* Qualitätsbereiche vorgedrungen wird, die viele Techniker für diese Membranen schon seit Jahren in Anspruch nehmen.

## HOCHTÖNER IN DER NUBOX-SERIE

Im Hochtonbereich kommen, wie schon in unserem "nuBox-Entwicklungsblatt" erwähnt, drei Varianten unserer 25-mm-Kalotten zum Einsatz, deren Übertragungsbereiche ebenfalls mit Hilfe der Weichen linearisiert werden.

Im Interesse hoher Belastbarkeit, guter Zuverlässigkeit und besserer Dämpfung der Eigenresonanz werden zunehmend Hochtöner mit *magnetisierbarem* Ferrofluid-Öl im Luftspalt eingesetzt. Wir haben jedoch schon vor über 10 Jahren bei allen Ferrofluid-Hochtönern, mit denen wir je Hörtests gemacht haben, einen deutlichen Anstieg von *Breitband-Klirrgeräuschen* festgestellt – egal, ob dieses Material serienmäßig in den Lautsprechern enthalten war, oder von uns nachgerüstet wurde. Die ersten *messtechnischen Untersuchungen* zeigten aber merkwürdigerweise sogar eine *Verbesserung* der Klirrwerte! Erst mit den damals noch extrem teuren Spektrum-Analysatoren kamen wir diesem Phänomen 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 Verzerrungen entstehen, die vielen Messtechnikern *völlig unbekannt* sind: das magnetische Öl im Luftspalt schneidet der Luft, die unter der Membrane 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 *Nachtstelle* des Schwingspulenträgers! Um diese Strömung zu kanalisieren, konnten wir später mit durchbohrten Polkernen diese 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 nuBox-Modellen, deren Hochtönerschwingspulen mit magnetischem Ferrofluid-Öl 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 unserer Hochtöner begeistert! Ab und zu tritt aber der Wunsch nach einem noch etwas breiteren Abstrahlverhalten oberhalb 10 kHz auf, wie es z. B. bei unserem Rear-Speaker RS-5 der Fall ist. Klanglich ist dieser breitstrahlende Hochtöner ausgezeichnet; Wirkungsgrad und Belastbarkeit reichen allerdings noch nicht für große Lautsprecherboxen aus.

Fast alle Hochtöner mit Schallverteilerblenden (partieller Abdeckung der Membrane) und alle Musterexemplare mit Abdeck-

ringen, die in ein Gitter vor der Membrane integriert waren, erreichten spielend 18 kHz bei 30 Grad Abstrahlwinkel, klangen aber 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 z. B. 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- und Kunststoff-Folienmembranen brachten zwar leichte Verbesserungen bei den Klirrwerten, aber wesentlich schlechtere Ergebnisse bei der Impulsverarbeitung, weil 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. Ein geübtes Ohr hört die störenden Differenzöne relativ zur Eigenresonanz bei impulsiver, obertonreicher Musik (z. B. Glockenspiel) im Vergleich sofort – und sogar ohne Direktvergleich, wenn beispielsweise ein Burstsignal *gleichzeitig* zwei hohe Töne (im Bereich zwischen 7 und 12 kHz) enthält.

Gute Ergebnisse haben wir dagegen mit einigen weichen *Sandwich-Membranen* erzielen können (Hochtöner mit solchem Membranmaterial wurden erstmals im Vorläufer unseres Rear-Speakers RS-300 verwendet). Auch miteinander verschweißte Styroporkügelchen zwischen dünnen Polypropylenfolien, schaumstoffartige oder Bienenwaben-Strukturen, sowie Keramik-Verbundwerkstoffe (– 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!

Die nuBox-Weichen *trennen* nicht nur die Frequenzen 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. Monatelang traktierte uns das physiologisch ausgesprochen unangenehme Klangspektrum der Burst-Signale und verfolgte uns noch im Schlaf. Zeitweilig wurde dadurch die Fähigkeit untergraben, vernünftige Klänge (wie z. B. Musik) halbwegs neutral beurteilen zu können, so dass Hörtests, die in diesen Monaten stattfanden, später teilweise wieder revidiert werden mussten.

### Frequenzweiche nuBox 310

Schon die kleine nuBox 310 weist zwei Entzerrungs- und Dämpfungsglieder *zusätzlich* zu den typischen 12-dB-Weichen auf, über die die meisten Qualitätsboxen verfügen. Sie machen diesen Lautsprecher zu einem *Geheimtipp* für kleinere und mitt-

lere Räume. Die schon sehr aufwändige Weiche des Vorläufers wurde nun noch ein Stück komplexer. Mit nun 16 Bauteilen in der Frequenzweiche konnte ein vorbildliches Verhalten erzielt werden, das sich klanglich vor keiner Edelbox dieser Größenklasse verstecken muss.

### Frequenzweichen nuBox 380/400

Die Frequenzweiche der nuBox 380 basiert auf der Weiche des erfolgreichen Vorläufermodells nuBox 360. Gegenüber der nuBox-360-Version, die im Mai 1996 in Stereoplay das Prädikat „unschlagbares Preis-Leistungs-Verhältnis“ bekam, wurde ab November 1996 die in 4 Punkten aufgewertete 360/III zum gleichen Preis ausgeliefert. Außer noch besseren Lautsprechersystemen gab es zwei weitere Linearisierungsschaltkreise, wodurch in der Frequenzweiche der Aufwand von 9 auf 15 Bauteile stieg. Gegenüber klassischen 12-dB-Weichen, die üblicherweise mit 5 bis 7 Bauteilen realisiert werden, verbesserten diese Frequenzgang- und Phasen-Kompensations-Anordnungen das ohnehin schon sehr gute Ausklingverhalten auf absolute Spitzenwerte – was deutlich positiv herauszuhören war. Außerdem konnte der *vertikale Abstrahlbereich ohne Klangeinbußen* von  $\pm 7$  Grad auf geradezu sensationelle  $\pm 10$  Grad erweitert werden!

Ab Dezember 1997 bis Ende 2005 wurde die 360/5 ausgeliefert, die mit *noch präziserem Tieftöner*, noch leistungsfähigerem Hochtöner und nun 20 Bauteilen in der Frequenzweiche ausgerüstet war. Diese Verbesserungen wurden im Test 8/98 in Stereoplay mit dem Prädikat „Highlight“ gewürdigt.

*Noch einmal kurz eine Bemerkung zur Komplexität von Frequenzweichen:*

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

Bei Aktivboxen könnte man mit 6-dB-Weichen und geeigneten Lautsprechersystemen ganz gute Ergebnisse im „group delay“ erzielen, wenn man zusätzlich Allpass-Filter für die Phasen-anpassung, Entzerrungen für die Lautsprecher-Eigenheiten und eine zweite, *steilere Filterung* für den Hochtöner vornahme (etwa eine Oktave unterhalb der Trennfrequenz). Bei Passiv-Boxen ist so etwas aber schaltungstechnisch kaum lösbar.

Von manchen High-End-Fans, wird seit geraumer Zeit jedoch auch bei Passiv-Boxen einem *Weichen-Minimalismus* gehuldigt. Mit großem Eifer wird die physikalisch bedenkliche Meinung vertreten, dass jedes Bauteil einer Frequenzweiche zwangsläufig die Klangqualität 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 6-Transistor-Radios reduziert! – Natürlich sind *unsinnig* eingesetzte (oder minderwertige) Bauelemente für den Klang schädlich; aber mit den einfachen (und billigen!!) 6-dB-Weichen, die meist 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 auszuschwingen.

Außerdem muss man häufig den Hochtöner *verpolt* anschließen, wenn man Einbrüche im Frequenzgang vermeiden möchte, die bei 6-dB-Weichen im Bereich der Übergangsfrequenz durch das *totale Verdrehen* der Phase entstehen. Durch diese Verpolung verliert man auch das eigentlich angestrebte Ziel, eine geringe Signaldurchlaufzeit zu erreichen. Dass manche dieser minimalistisch aufgebauten Lautsprecher ab und zu gute Testergebnisse erzielen, muss den technisch interessierten Musikliebhaber natürlich verunsichern!

Obwohl der mehr als dreimal so hohe Bauteileaufwand einer nuBox-380-Weiche gegenüber typischen Boxen der 500-Euro-Preisklasse (pro Paar) in der 400-Euro-Klasse nicht leicht unterzubringen ist, werden bei den Modellen 380 und 400 ausschließlich die hochwertigen Kunststoff-Folienkondensatoren eingesetzt, die gegenüber den üblicherweise verwendeten Elektrolytkondensatoren ein Mehrfaches kosten!

## Frequenzweiche nuBox 580

Die Frequenzweiche der nuBox 580 ist 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 bei diesem Lautsprecher nicht mehr erforderlich, die Box auf einen 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 Box in Ohrhöhe, ohne die sonstigen positiven Eigenschaften einzuschränken. Gleichzeitig wurde neben der Umschaltbarkeit des Bassfundaments ein weiterer Schalter in die Serie übernommen, mit dem man die Höhenwiedergabe in drei Stufen variieren kann.

Die Einführung einer Impedanzlinearisierung für den Tiefbass und der nochmals verbesserte Übergang zwischen Tief/Mitteltöner und Hochtöner trieb den Aufwand der Frequenzweiche weiter in die Höhe. Jedes Lautsprechersystem hat nun seine eigene Weichen-Platine, die insgesamt mit 39 Bauteilen bestückt sind.

## 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 Hochtönerkalotte zurück. Dadurch gibt es dann einen ausgeprägten Sprung bei den vertikalen Abstrahleigenschaften. Dieses Prinzip wird zwar oft – z. B. in Form der sogenannten *D'Appolito-Anordnung* – eingesetzt, die klanglichen Auswirkungen sind aber 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 z. B. 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 Frequenz-

bereich 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 steiflankige 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 strahlende Fläche 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 *weniger steil* abtrennt, hat man noch genügend Schallpegel bei jenen Frequenzen, bei denen in Hörposition Auslöschungen und Anhebungen z. B. durch Bodenreflexionen auftreten, um damit die Einbrüche aufzufüllen, die der Fußboden beim *jeweils anderen* Tieftöner erzeugt.

(Weil die Bodenabstände der Tiefton-Lautsprechersysteme 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 die nuBox 580 nicht in Frage. Im Tieftonbereich würde die grundsätzliche Verschlechterung der Impulsverarbeitung ansonsten zu klanglich deutlichen Unterschieden führen.

## Lösungsansatz im Bassbereich der nuBox 580:

Bei der nuBox 580 laufen Tief-Mitteltöner und „integrierter 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 des Tieftöners wird im *Tief/Mitteltontkanal* so kompensiert, dass der resultierende Schalldruck aus der Summe *beider* 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. (Oberhalb der Hochtöner-Achse klingt die 580 etwas mittenärmer als unterhalb dieser Achse.)

Mit Bass-Schalterstellung „OBEN“ kann man eine leichte Bassanhebung erzielen, die das Klangbild voller und wärmer macht. Durch aufwändige Dämpfungs- und Versteifungsmaßnahmen des Gehäuses wurden ausgezeichnete Ergebnisse bezüglich Dröhnfreiheit erzielt; aber eine Box mit einem solch 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 und tiefreichend. Darüberhinaus bekommt man eine weitere Verbesserung der Straffheit im Tiefbass und eine fast perfekte Impedanzlinearität im *gesamten* Bassbereich.

#### Lösungsansatz im Hochtonbereich:

Bei großen, hochbelastbaren Lautsprecherboxen werden häufig sehr steifflankige 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 nach einem Burst-Signal typischerweise 5 bis 6 Halbwellen, bis die Amplitude auf etwa 50 % abgeklungen ist. Das macht sich unangenehm durch ein metallisches Klangbild bemerkbar.

Im Gegensatz dazu setzen wir gedämpfte 12-dB-Weichen ein, die praktisch die Impulsverarbeitung von Bessel-Filtern liefern – also keine nennenswerten Überschwinger produzieren.

Gedämpfte *Parallelschaltkreise*, die das Ausschwingen nicht verschlechtern, schützen den Hochtöner vor *den* Belastungen, die sonst (durch die flachere Filtersteilheit einer 12-dB-Weiche) unterhalb des Einsatzbereiches auftreten würden. Die Schutzwirkung für den Hochtöner funktioniert genauso gut wie bei den klassischen, steifflankigen Auslegungen, jedoch ohne deren klangliche Nachteile. Außerdem entsteht durch diese Parallelkreise eine *zweite Filtersteilheit* in der Weiche, die für eine perfekte Phasenanpassung an den Tief/Mitteltöner sorgt.

Darüber hinaus waren umfangreiche Entwicklungsarbeiten am *Tief/Mitteltonkanal* der Weiche erforderlich, um den kritischen Übergangsbereich zum Hochtöner mit sauberem Frequenzgang und ohne Phasensprünge zu realisieren. Die Übergangsfrequenz wurde mit 2 kHz relativ hoch gewählt, denn bis zu dieser Frequenz ist das Einschwingen des 22-cm-Chassis praktisch perfekt, während der Hochtöner die erste Halbwelle eines Sinusburst um ca. 3 bis 4 dB dämpft. (Im Impulsverhalten ist das 22-cm-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.

Bei höchsten Anforderungen an den Klang kann man die Boxen trotz des erweiterten Winkelbereiches (z. B. mit Hilfe von Speaker-Pucks) entsprechend leicht nach hinten neigen.

#### Bauteile-Qualität und Auswirkungen auf den Klang:

Es wurde Wert darauf gelegt, die Weiche an allen sinnvollen Punkten ohne den Einsatz von Elektrolytkondensatoren aufzubauen. Die verwendeten Kunststoff-Folienkondensatoren 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!

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). Eine *Luftspule* (also eine Kupferspule ohne Kern) mit ähnlich geringem Innenwiderstand wäre wirtschaftlich nicht sinnvoll realisierbar, hätte mehr als das zehnfache Gewicht und brächte keine wahrnehmbaren Vorteile.

Durch gezielten Einsatz der bereits erwähnten Kompensationschaltungen und Dämpfungsglieder konnte für unseren speziellen 22-cm-Tief/Mitteltöner im Bereich von ca. 300 bis über 2000 Hz ein praktisch perfektes Impulsverhalten erreicht werden, das sogar die Präzision der besten Aktiv-Varianten der nuBox 580 übertrifft, die parallel im Labor aufgebaut wurden. (Weniger als 10% Dämpfung der ersten Halbwelle eines Sinusburst beim Einschwingen und weniger als 10% Überschwinger der letzten Halbwelle gegenüber dem Idealwert! – Das sind Ergebnisse, die dramatisch besser als üblich sind und in Fachkreisen ungläubiges Staunen auslösen. Sie sind jedoch jederzeit messtechnisch demonstrierbar und führen z. B. bei angezupften Gitarrensaiten oder bei der Wiedergabe von Schlaginstrumenten zu beeindruckender Lebendigkeit!