



White Paper

SETA-AUDIO Lautsprecherentwicklungen

Erstellt von Dipl. Ing. Cay-Uwe Kulzer



Version 1.1

8. Februar 2010



1. Einleitung

SETA-AUDIO ist ein junges Unternehmen im High End Audio Bereich, das sich verstärkt mit der Entwicklung von Lautsprechern beschäftigt. Seit 2008 macht SETA-AUDIO auf unterschiedlichen HiFi Messen, wie der Hören + Sehen, Homecinema, der HighEnd in München - eine der bekanntesten HiFi Messen der Welt - auf sich aufmerksam.

Immer wieder sind Messebesucher über das ungewöhnliche Design, aber viel mehr über das enorme Klangpotenzial der Lautsprecher überrascht. Insbesondere ist dies zwei Technologien von SETA-AUDIO zu verdanken:

1. SETA-AUDIO's SOLID DOME Lautsprecherchassis
2. SETA-AUDIO's CLUSTERFLEX Gehäuse.

Dieses Whitepaper soll diese Neuerungen auf dem High End- und HiFi Markt näher beschreiben, sodass sich Interessenten ein besseres Bild über diese Besonderheiten machen können.

Lautsprecher haben die schwierigste Aufgabe in einer HiFi- oder High End Kette zu bewältigen, denn sie müssen dafür sorgen, dass elektrische Signale in akustische umgesetzt werden.

In den letzten Jahrzehnten sind viele unterschiedliche Systeme auf den Markt gekommen, und wenn man sich den Lautsprechermarkt genauer anschaut, wird man feststellen, dass sich im Wesentlichen die dynamischen Lautsprecher durchgesetzt haben, wenn es um die Musikwiedergabe geht. Betrachtet man diese jedoch etwas genauer, stellt sich heraus, dass diese Art von Technologie wenig an Neuerungen erfahren hat. Zwar sind in den letzten Jahren z.B. unterschiedliche Membranmaterialien auf den Markt gekommen, aber prinzipielle Probleme, die beim Einbau der Chassis und bei Membranen auftreten, sind nicht genügend adressiert. Diese wären:

1. Kompressionserscheinungen im eingebauten Zustand
2. Partialschwingungen und Verformungen der Membran

Die Behebung oder Minderung beider Problemematiken kann besonders gut am Chassis selber angegangen werden. Das hat man bei SETA-AUDIO sehr früh erkannt und hat daher viel Entwicklungsaufwand in diesem Gebiet vorgenommen.

In jahrelanger Arbeit ist dabei ein Chassis entstanden, das dem Ideal am nächsten kommt. Unter anderem wird von einem dynamischen Lautsprecherchassis ein kolbenähnliches Konstrukt erwartet, das jegliche Schwingung und Beschleunigung ohne Verformungen durch Kompressionen oder Partialschwingungen erledigt. SETA-AUDIO ist es mit ihren sogenannten SOLID DOME Chassis gelungen, eine Membran herzustellen, die sich im Betrieb nicht verformt und somit annähernd keine Partialschwingungen aufweist. Durch ihre stabile Form leidet diese Membran so gut wie nicht unter Kompressionen im eingebauten Zustand.

Aber nicht nur das Chassis ist von Bedeutung, sondern auch die Konstruktion des Lautsprechergehäuses. Lautsprechergehäuse bedämpfen je nach Art der Konstruktion das Chassis in seinen Bewegungen. Dies ist zum Teil auch wichtig und notwendig, so zum Beispiel im Bassbereich. Der Bass muss eine gewisse Dämpfung erfahren, denn ohne Dämpfung würde die Membran zu unkontrollierten Auslenkungen tendieren. Während das im Bassbereich erwünscht ist, kann es im oberen Frequenzbereich, z.B. bei der Stimmenwiedergabe, von



Nachteil sein. Das liegt darin, dass beim Bedämpfen größere Kräfte auf die Membran wirken können. Dabei kann es bei der Wiedergabe zu Klangverfälschungen kommen. Dies ist besonders einfach an einer geschlossenen Box nachzuvollziehen. Drückt man auf die Membran eines Chassis, das in einer geschlossenen Box eingebaut ist, dann wird die Luft im Inneren zusammengedrückt. Dabei entstehen größere Kräfte, die die Membran verformen können, was Wiedergabeeinbußen zur Folge hat.

Dies zu vermeiden, war primäres Ziel des CLUSTERFLEX Gehäuses von SETA-AUDIO. Eine einfache Erklärung des Gehäuses ist mit wenigen Worten getan. Es ist ein offenes Gehäuse, das praktisch ohne jegliche Bedämpfung im Inneren auskommt, den Bassbereich optimal bedämpft, jedoch den Grund- und Mittelton im Inneren komplett auslöscht. Dies wurde durch eine ausgeklügelte Anordnung von Schallumlenkungselementen im Gehäuseinneren geschafft. Dabei kann die Lautsprechermembran frei schwingen, ohne besondere Verformungen zu erfahren. Vereinfacht gesagt ist die Box mit einem reflektionsarmen Raum (RAR) zu vergleichen. Wie der Name schon sagt, werden in einem RAR Reflektionen von Wänden durch besondere Elemente so gut wie garnicht reflektiert. Bezogen auf die SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Konstruktion bedeutet das, dass praktisch keine Schallwellen mehr auf die Membran zurückreflektiert werden und somit werden weitere Klangverfälschungen im Keim erstickt.



2. SETA AUDIO SOLID DOME Chassis

Dynamische Lautsprecher sind sehr ineffiziente Schallwandler, denn nur ca. 1-5% der zugeführten Leistung werden auch in Schall umgesetzt. Aus diesem Grund sind Chassishersteller bestrebt, für den geplanten Einsatzbereich die Membran und ihren Antrieb so leicht wie möglich zu konzipieren. Für die Membranen bedeutet das in vielen Fällen, dass sie sehr filigran aufgebaut sind. Unabhängig vom Membranmaterial treten im Betrieb unvermeidlich Verformungen auf, die zu Partialschwingungen führen. Partialschwingungen können mit dem Flattern eines Papierstücks im Wind verglichen werden, z.B. bei einem Drachen. Deutlich erkennt man bei einem fliegenden Papierdrachen, dass sich Papierstücke unter der Kraft des Windes stark durchbiegen. Ähnliche Erscheinungen sind bei Lautsprechermembranen zu erkennen, da sie im Betrieb starken Kräften ausgesetzt werden. Die Partialschwingungen gilt es in Griff zu bekommen, weshalb für die Herstellung der Membranen neben Papier in den letzten Jahren immer mehr leichte Materialien wie Aluminium, Kevlar, Carbon usw. benutzt werden. Diese Stoffe sind für ihr geringes Gewicht und Stabilität bekannt. Wenngleich einige dieser Materialien die Problematik der Partialschwingungen besser adressieren als z.B. Papier, ist es keinem gelungen die Partialschwingungen komplett zu eliminieren.

Ein anderes Problem bei Lautsprecherchassismembranen sind Kompressionserscheinungen, die von Kräfte rückwirkungen im Inneren des Lautsprechergehäuses resultieren. Es ist es einfach zu verstehen, dass diese auch Auswirkungen auf die Membran haben. Diese weiteren Verformungen entstehen zusätzlich zu den schon beschriebenen Partialschwingungen und beide Phänomene wirken sich klangbeeinträchtigend aus.

Ideal wäre aus Sicht eines dynamischen Lautsprechers, wenn er Schwingungen kolbenähnlich ohne jegliche Verformungen folgen könnte. Dies ist allgemein bekannt, aber bedingt durch Kompromisse wurde von vielen Lautsprecherherstellern eine Entwicklung zur Verminderung von Partialschwingungen nicht konsequent verfolgt.

Hauptentwicklungsziel der SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis ist es gewesen, eine Membran herzustellen, die kolbenähnliche Führung ohne nennenswerte Partialschwingungen und Verformungen ermöglicht. Wenngleich die Idee relativ einfach war, ist es ein langer Weg gewesen, bis alle Parameter, die für ein hervorragendes Chassis notwendig sind, in Einklang gebracht werden konnten. Bei der SOLID DOME Technologie wird die Membran durch einen Kegelaufsatz zusätzlich verstärkt, wodurch jegliche Verformung wie Partialschwingungen praktisch eliminiert wurden.

Schon frühe Labormuster haben ihre Wirkungsweise mit Bravur unter Beweis gestellt. Hörtechnisch hat sich dies unter anderen in einer deutlich gesteigerten Sprachverständlichkeit gezeigt und messtechnisch gesehen besaßen diese Chassis einen hervorragenden Klirrfaktor, der insbesondere im Sprachbereich zwischen 0,1 und 0,2% lag.

Die ersten Labormuster besaßen gegenüber vergleichbaren Lautsprecherchassis einige gravierende Nachteile, wie die im Schnitt 6dB geringere Empfindlichkeit, eine schlechte Dämpfung im Bassbereich und eine stark schwankende Produktionskonstanz.

Alle diese Punkte wurden über die Entwicklungszeit immer besser in Angriff genommen und optimiert. So war die geringere Empfindlichkeit auf das zu hohe Gewicht des SOLID DOME Kegels zurückzuführen, weshalb lange geforscht wurde, um für den SOLID DOME das geeignete Material, Klebstoffe und Herstellungsmethoden zu finden; außerdem wurde der komplette



Antrieb überarbeitet. Am Ende der langen Entwicklung hat es SETA-AUDIO geschafft, das Gewicht der Membran um über 50% zu senken. Dies im Zusammenhang mit dem stärkeren Antriebsmagneten hat z.B. die Empfindlichkeit in einen Bereich gebracht, die im üblichen Rahmen dessen liegt, was heutzutage Ausnahmechassis vorzuweisen haben. Außerdem hat der stärkere Magnet dafür gesorgt, dass das System besser im Bassbereich bedämpft wurde, was einen uneingeschränkten Einsatz als Tief-Mitteltöner zulässt.

Zu guter letzt wurden die Produktionsmethoden kontinuierlich verbessert, sodass heute eine Serienkonstanz erreicht wird, die keine nennenswerten messtechnischen Unterschiede aufweist. Jedes der produzierten SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis kommt zum Einsatz; dennoch werden alle Chassis durchgemessen, deren Messdaten archiviert und den ausgelieferten Lautsprecherboxen zugeordnet. Somit ist sichergestellt, dass im seltenen Fall eines Austauschs der Käufer einen exakt gleichen Lautsprecher als Ersatz bekommt und diese Daten der optimalen Qualitätskontrolle dienlich sind.

2.1 SETA AUDIO SOLID DOME Chassis im Einsatz

Um die vorhergehenden Behauptungen zu untermalen wird in diesem Teilabschnitt der Einsatz des SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis mit einem anerkannten Spitzenchassis auf dem Markt verglichen. Dieser Vergleich wird anhand von Simulationen durchgeführt, die bei der Berechnung auf Messdaten von dem SETA-AUDIO Labor zurückgreifen. Für die Simulationen gelten folgende Voraussetzungen:

1. Es werden gleiche Boxdimensionen herangezogen. Diese entsprechen der SETA-AUDIO BESA CS Lautsprecherbox.
2. Die Chassis werden in ein Bassreflexgehäuse eingebaut, da die Simulationssoftware das SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse nicht abbilden kann.
3. In allen Fällen wird auf einen ausgeglichenen Frequenzgang optimiert.

Die erste Grafik stellt einen Vergleich zwischen den Spitzenchassis und dem SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis im eingebauten Gehäuse dar, jedoch ohne Weiche.

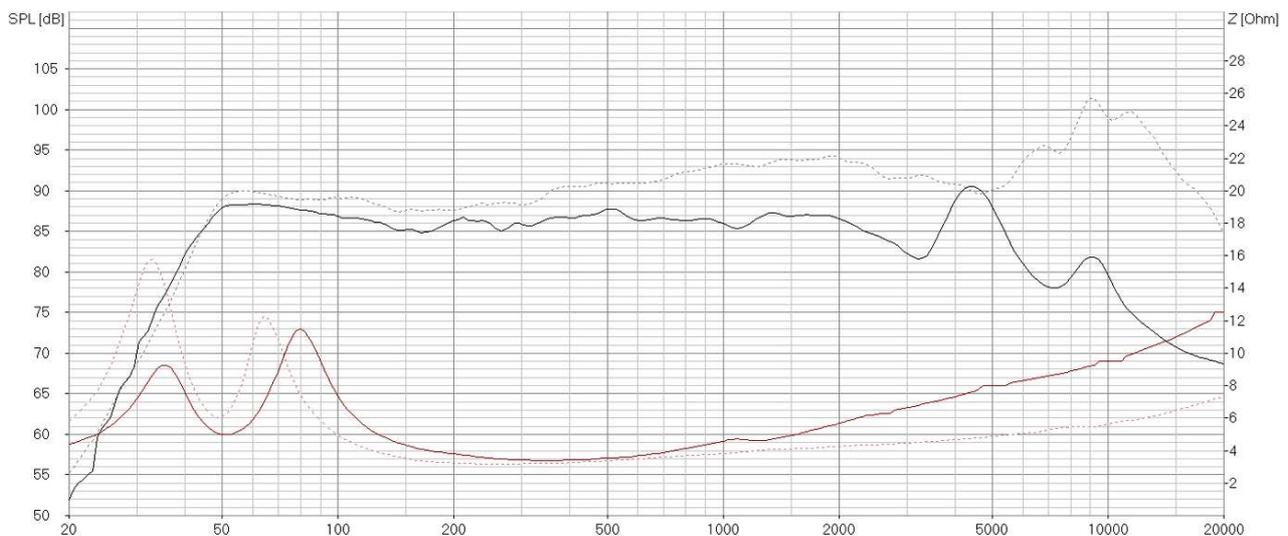


Abbildung 2.1: SETA AUDIO SOLID DOME vs. Spitzenchassis ohne Frequenzweiche

Abb. 2.1 zeigt den Schalldruck und Impedanzgang beider Chassis auf, wobei die gestrichelte Kurve das Spitzenchassis darstellt, und die durchgezogene Kurve das SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis.

Beide Chassis geben sich als Hartmembranen erkennbar, was an den Schallpegelspitzen im oberen Frequenzspektrum zu sehen ist. In beiden Fällen sind diese jedoch durch geeignete Weichenkonzepte leicht in den Griff zu bekommen, wodurch sie keine Klangeinbußen verursacht werden.



Interessant zu beobachten ist, dass das SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis bereits ohne Weiche einen sehr ausgeglichenen Frequenzgang bis ca. 3000Hz vorweist. Der dazugehörige Phasengang (auf diesen wird später noch näher eingegangen) ist ab ca. 100Hz im SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse bis ca. 4000Hz sehr konstant und bewegt sich im Bereich von ca. 0-40 Grad. Dadurch ergibt sich eine sehr ausgeglichene Gruppenlaufzeit. Dies ist musikalisch und akustisch gesehen eins der wichtigsten Frequenzspektren, denn in diesem Bereich fällt z.B. die menschliche Stimme, aber auch die meisten Musikinstrumente.

Rein messtechnisch gesehen heißt das, dass Grundtöne und ihre Oberwellen nur mit sehr geringen akustischen Phasenverschiebungen wiedergegeben werden. Dies garantiert eine sehr natürliche Reproduktion. Wie anfangs gesagt, sind Labormuster durch eine außergewöhnlich gute Stimmwiedergabe hervorstechend.

Das Spitzenchassis zeigt den üblichen Frequenzgang im eingebauten Zustand auf, der zu oberen Frequenzen mit ca. 6dB pro Oktave im Schallpegel ansteigt. Auch dieses Chassis besitzt einen guten Phasengang, jedoch ist dieser wie bei praktisch allen Lautsprechern „drehend“ von ca. 60 Grad bei 100Hz bis ca. -120Grad bei 4000Hz. Überträgt man dies auf ein Musikinstrument, das einen Grundton von 200Hz spielt, so werden seine Oberwellen nicht mehr phasenrichtig wiedergegeben. Laut der Simulation würde ein 200Hz Ton eine Phase von 40 Grad besitzen, die erste Oberwelle eine von 20 Grad, die zweite eine von 0 Grad, die dritte Oberwelle eine von -40 Grad und die vierte eine von -90 Grad.

Bekanntermaßen sorgen die Oberwellen eines Instrumentes für ihre Klang-eingeschaften. Demnach müsste ein Lautsprecher den Grundton und dessen Oberwellen auch in ihrer Phase richtig wiedergeben. Ein Chassis, das den Grundton mit 40 Grad wiedergibt, aber die vierte Oberwelle mit -90 Grad, wird nicht in der Lage sein, den Klangcharakter eines Instruments korrekt abzubilden. Desweiteren kommt noch hinzu, dass die vorgeschaltete Weiche weitere Phasenverschiebungen verursachen wird. Das bedeutet, dass das aufgezeigte Beispiel weitere Verschlechterungen erfährt.

Ein Chassis, das in der Lage ist, wie das SETA-AUDIO SOLID DOME Grundwelle und Oberwellen über ein weites Frequenzspektrum annähernd phasenrichtig wiederzugeben, wird klanglich wesentliche Vorteile besitzen und dem Ideal näher kommen. Hinzu kommt, dass das Chassis einen sehr ausgeglichenen Frequenzgang besitzt, der keine nennenswerten Korrekturen durch eine Weiche braucht. Diese beschränken sich im wesentlichen auf eine Begradigung der aufgezeigten Resonanzen, die weniger Einfluß auf den akustischen Phasengang haben.

Am Rande sollte erwähnt werden, dass diesem Punkt zu wenig Beachtung bei der Entwicklung und Konstruktion von Lautsprechern geschenkt wird. Ein ausgeglichener Frequenzgang und ein möglichst konstanter akustischer Phasengang sind weitere wichtige Entwicklungsziele, denn erfahrungsgemäß fallen geringe akustische Phasenunterschiede weniger auf, sprich, sie beeinträchtigen den Klang so gut wie gar nicht, was zu einer wesentlich authentischeren Wiedergabe führt.

Die nächste Grafik zeigt die Chassis mit einer entsprechenden Weiche zur Glättung des Frequenzgangs und Ankopplung eines Hochtöners.

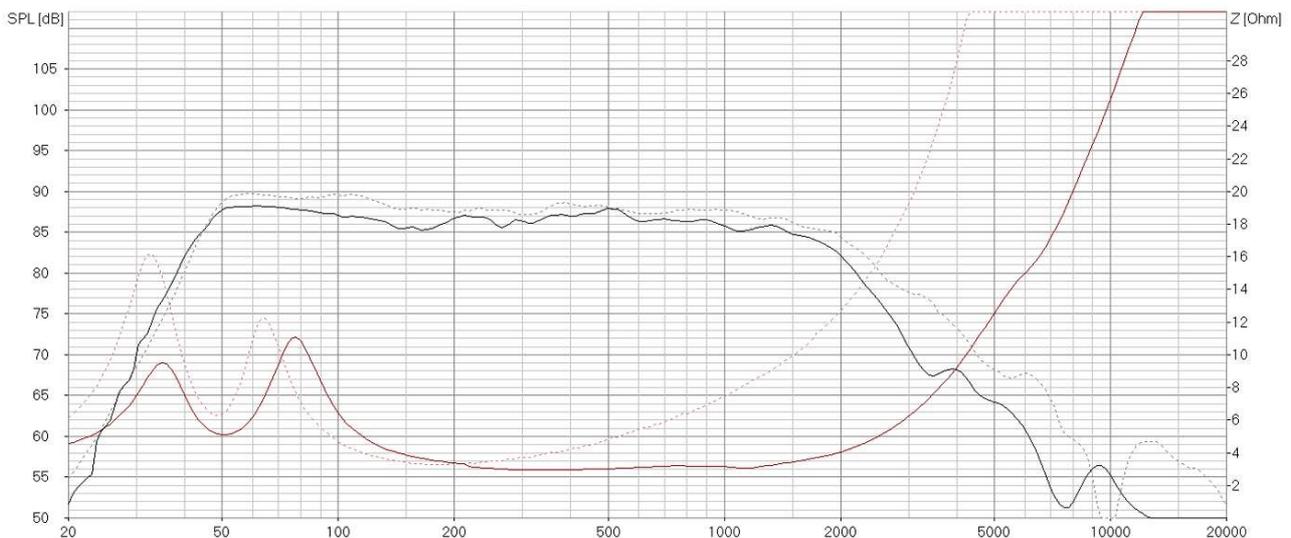


Abbildung 2.2: SETA-AUDIO SOLID DOME vs. Spitzenchassis mit Frequenzweiche

Auch für Abb. 2.2 gilt: die gestrichelte Kurve bezieht sich auf das Spitzenchassis und die durchgezogene Kurve zeigt das SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis.

Da diese Simulation schon dem tatsächlichen Einsatz nahe kommt, ist aus ihr gut zu erkennen, dass die Empfindlichkeit der SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis bezüglich der Empfindlichkeit der heutigen Spitzenchassis in nichts nachstehen. Beide Konstruktionen weisen im gleichen Gehäuse ähnliche Empfindlichkeiten auf. Im Schnitt liegt das Spitzenchassis in diesen Fall ca. 1dB höher, was jedoch aus praktischer Sicht irrelevant ist.

Wichtiger in diesem Zusammenhang ist, dass der Impedanzverlauf des SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis im Bereich von ca. 150-2.500Hz sehr konstant ausfällt. Ein erfahrener Lautsprecherentwickler erkennt sofort, dass die angewandte Weiche im wesentlichen nur zur Korrektur des Frequenzgangs dient und weniger dazu, den stetigen Anstieg des Schallpegels zu egalisieren.

Deutlich ist am starken Anstieg der Impedanz vom Spitzenchassis ab ca. 200Hz zu sehen, dass die Weiche eine größere Induktivität im Tiefpass beinhalten muss, um den Frequenzgang zu begradien. Dies führt, wie bei der Analyse von Abb. 2.1 besprochen, zu weiteren Phasenverschiebungen im akustischen Signal, sprich Grundton und dessen Oberwellen erfahren eine weitere Phasendifferenz und somit kann mit zusätzlichen Klangeinbußen gerechnet werden.

In der nächsten Grafik wird für beide Fälle ein entsprechender Hochtöner angekoppelt. Leider ergab sich laut Simulation keine vernünftige Ankopplung des MUNDORF AMT an das Spitzenchassis. Dafür wurde ein anderer Hochtöner ausgewählt.

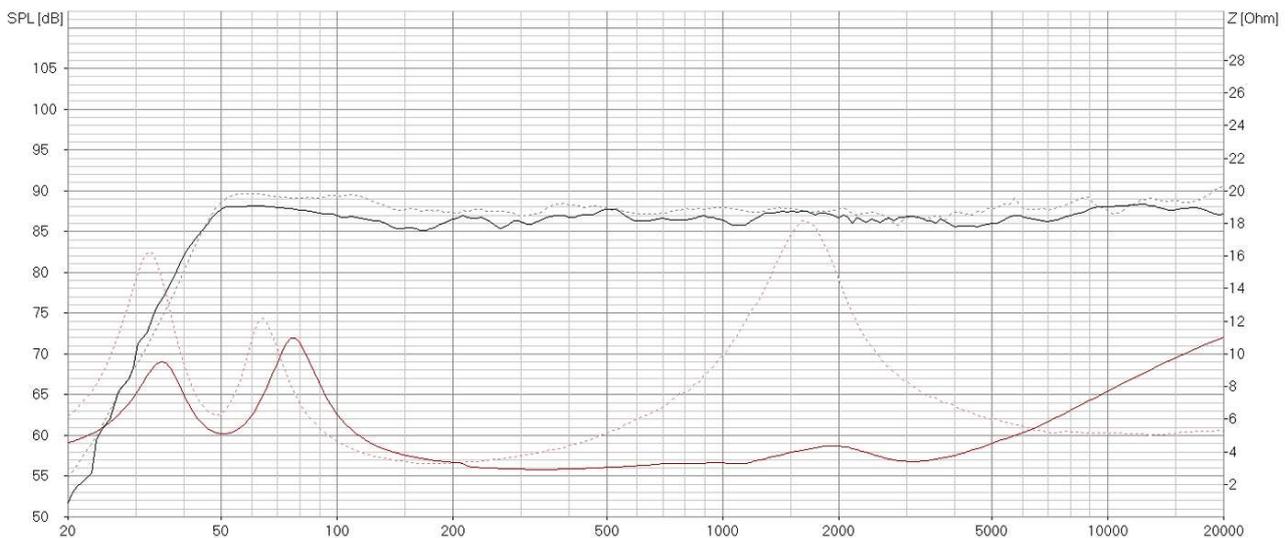


Abbildung 2.3: SETA-AUDIO SOLID DOME vs. Spitzenchassis mit Hochtöner

Auch Abb. 2.3 zeigt einige interessante Aspekte auf, die in diesem Fall von Bedeutung für die Gesamtbox sind. Die Abstimmung mit dem Spitzenchassis zeigt typische Impedanzverläufe von 2-Wege-Passivboxen. Wie bei der Besprechung von der Simulation in Abb. 2.2 erwähnt, sorgt der Impedanzanstieg beim Spitzenchassis dafür, dass zwar akustisch ein ausgeglichener Frequenzgang entsteht, dadurch aber der Impedanzgang eine starke Impedanzspitze bei ca. 1.600Hz aufweist. Dieses Maximum kann für einige Verstärker zum Problem werden, denn es führt zu starken elektrischen Phasenänderungen, die manche Verstärker nicht verkraften. Besonders betroffen davon sind Röhrenverstärker mit Ausgangsübertragen, denn sie reagieren empfindlicher auf Wechsellasten.

Demgegenüber zeigt sich die SETA-AUDIO SOLID DOME Simulation sehr gutmütig und ist daher für alle Verstärkertypen als ideal zu bezeichnen. Dazu muss man wissen, dass so gut wie jeder Verstärker auf induktive Lasten ausgelegt ist - besonders zu hohen Frequenzen hin. Sehr kritisch reagieren z.B. Schaltverstärker (Class-D) auf kapazitive Lasten. Aus der Impedanzkurve des simulierten SETA-AUDIO Lautsprechers ist sehr gut erkennbar, dass er sich als induktive Last gibt. Im Frequenzbereich von ca. 200-5.000Hz ist der Impedanzgang sehr konstant, steigt erst ab 5000Hz langsam an und stellt somit kein Problem für jegliche Art von Verstärker dar.

Um die Glaubwürdigkeit von Simulationen zu untermalen, zeigt die nächste Grafik Messungen der SETA-AUDIO BESA CS, die unter anderem auf die gezeigten Simulationen basieren.

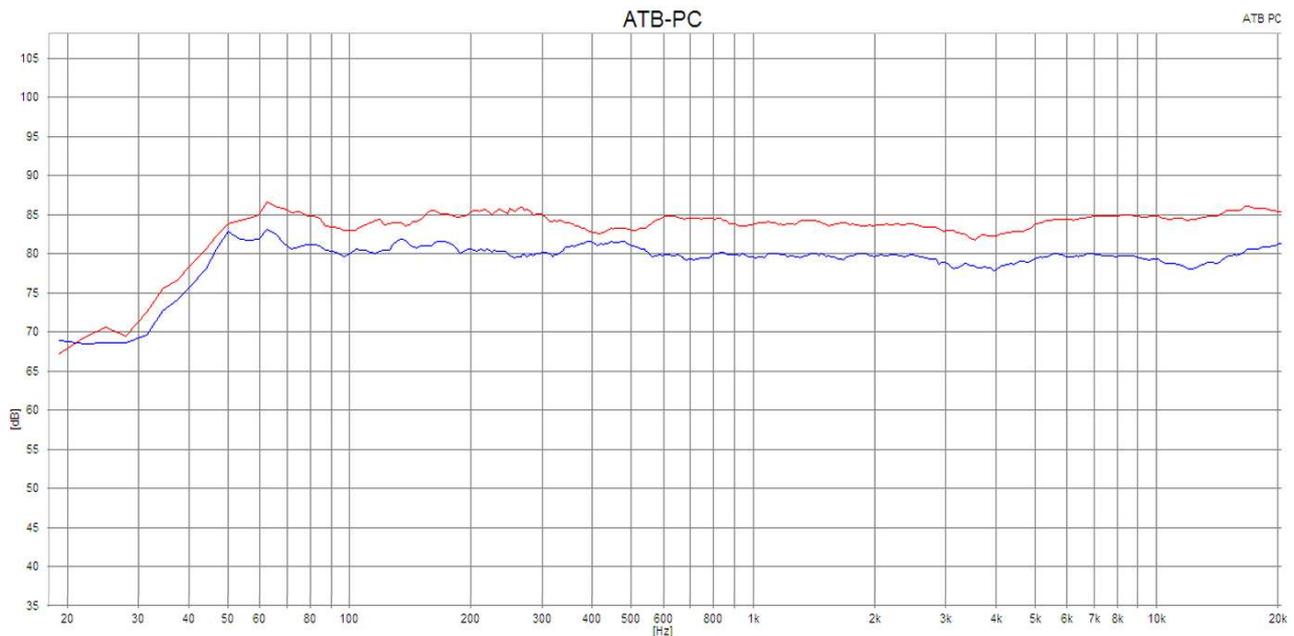


Abbildung 2.4: SETA-AUDIO BESA CS mit SOLID DOME Chassis

Die rote Kurve entspricht einer Messung in der üblichen Entfernung von einem Meter. Da das SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse einige Schallaustrittsöffnungen in bodennähe besitzt, wurde eine weitere Messung in zwei Meter Entfernung durchgeführt, da bedingt durch Laufzeitunterschiede unterhalb von 300Hz ein unkorrektes Summsignal im Bassbereich entstehen kann. Beide Kurven zeigen einen ähnlichen Frequenzgang, der dem der Simulation sehr nahe kommt.

Um die Aussage der sehr konstanten Phasenlage im eingebauten Zustand zu untermauern, zeigt die nächste Grafik Messungen des SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis in der SETA-AUDIO BESA CS Lautsprecherbox.

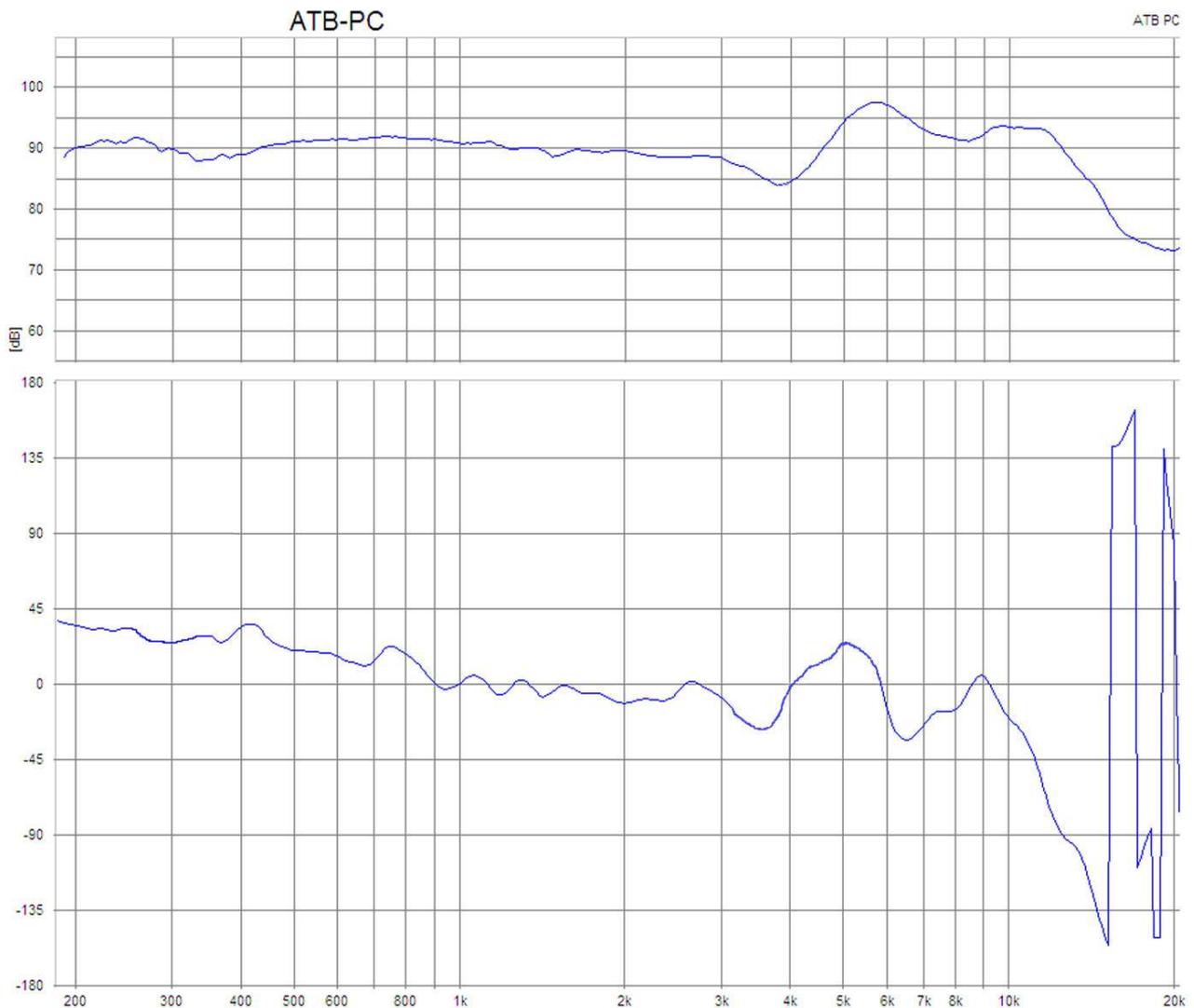


Abbildung 2.3: SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis

Auf Abbildung 2.4 ist sehr deutlich der ausgeglichene akustische Phasengang des SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis zu erkennen. Der Phasensprung bei ca. 4KHz wird durch die Weiche, die die Resonanz in diesem Bereich dämpft, wieder ausgeglichen.



2.2 SETA AUDIO SOLID DOME Chassis Eigenschaften

Wie in den vorherigen Abschnitten gezeigt und beschrieben wurde, verfügt das SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis über einzigartige Besonderheiten, die es uneingeschränkt in die Spitzentechnologie des heute Machbaren positioniert. Aus messtechnischer, aber auch hörtechnischer Sicht sind folgende Eigenschaften hervorzuheben:

1. Sehr ausgeglichener Frequenzgang bereits ohne Weiche. Dies macht die Weichenentwicklung und Aufwand sehr einfach. Somit werden eventuelle Klangeinbußen, die von Weichenbauteile rühren könnten, weiter minimiert.
2. Im akustisch kritischsten Bereich von ca. 200-4000Hz besitzt das Chassis eine sehr konstante akustische Phasenlage, die auch durch die Weiche sehr geringfügig beeinflusst wird. Im Zusammenhang mit dem fast linearen Frequenzgang ergibt sich eine klangliche Kombination, die in dieser Art auf dem Markt einzigartig ist.
3. In dem für Menschen sehr empfindlichen Stimmenbereich besitzt das Chassis einen extrem niedrigen Klirrfaktor, auch bei hohen Lautstärken. Daher werden unter anderem Stimmen sehr deutlich und verständlich wiedergegeben. Da sich diese Eigenschaft auch bei hohen Lautstärken zeigt, werden Musikpassagen mit hohem Dynamikumfang ohne merkliche Klangminderung wiedergegeben.
4. Die sehr stabile Membrankonstruktion garantiert einen uneingeschränkten Klanggenuss ohne wahrzunehmenden Kompressionserscheinungen oder Partialschwingungen. Kombiniert mit dem bereits erwähnten niedrigen Klirrfaktor ist dieses Chassis in der Lage, Dynamiksprünge und Transienten, die in komplexen Musikpassagen zu finden sind, naturgetreu weiterzuleiten. Aus diesem Grund ist es auch hervorragend für den Einsatz in Abhörmonitoren geeignet wie beim SETA AUDIO BESA MS System.



3. SETA AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse

Im vorangegangenen Kapitel wurde detailliert über das SETA-AUDIO SOLID DOME Chassis berichtet. Doch ein hervorragendes Chassis allein macht noch lange nicht einen Spitzenlautsprecher aus. Ein weiterer wichtiger Faktor im Lautsprecherbau ist die Gestaltung des Gehäuses.

Betrachtet man den Markt etwas genauer, wird man feststellen, dass im Wesentlichen drei Konstruktionsarten den Markt beherrschen:

1. Bassreflexboxen
2. Transmissionline
3. Geschlossene Gehäuse
4. Hörner

Wie so oft birgt jede Art ihre Vorteile, aber auch Nachteile. Eine Bassreflexbox ist eine offene Konstruktion, die zur Verstärkung des Basses einen Resonator besitzt - üblicherweise Bassreflexrohr. Eine Bassreflexbox ist in der Lage, in einem bestimmten Frequenzbereich die Basswiedergabe im Schnitt um ca. 6dB zu verstärken. Dieser Effekt stellt sich bei der sogenannten Tuningfrequenz ein, bei der sich der abgegebene Schall der Membran mit dem Schall vom Resonator addiert. Etwas unterhalb der Tuningfrequenz subtrahiert sich allerdings der Schall.

Dieses Prinzip hat sich im Markt stark behauptet, da es recht kostengünstig zu erstellen ist, besitzt aber unter anderen zwei Nachteile:

1. ein theoretisch schlechteres Impulsverhalten
2. zum Teil hörbare Verwirbelungsgeräusche aus dem Reflexrohr

Besonders die Luftgeräusche können sich nachteilig auf das Hörvergnügen auswirken. Die zu eliminieren ist recht aufwendig. Am effektivsten ist es, eine Passivmembran zu benutzen, die in der Tuningfrequenz mit dem Lautsprecherchassis synchron schwingt.

Der Transmissionline wird eine bessere Impulswiedergabe als Bassreflexboxen nachgesagt. Das Prinzip der Transmissionline ist sehr ähnlich dem Bassreflex, wobei die Tuningfrequenz durch die Länge einer „Line“ ($\frac{1}{4}$ Wellenlänge der Frequenz) festgelegt ist. Da im Bassbereich die Wellenlängen von tiefen Frequenzen sehr lang sind, ergibt das eine recht große Box. Um die Konstruktion zu verkleinern, wird die „Line“ gefaltet.

Für eine Transmissionline die auf 50Hz getrimmt wird, ergibt die Länge der „Line“ oder Kanal ca. 1,7 Meter, was der Boxhöhe entsprechen würde. Eine oft anzufindende Variante ist, den Kanal einmal zu falten, wobei sich dann eine Boxhöhe auf die Hälfte reduziert. Wie bei der Bassreflex addiert sich der Schall der Chassismembran mit dem der „Line-Öffnung“ im Bereich der Tuningfrequenz, aber auch Frequenzen in den nächsten Oktaven. Um beim Beispiel von 50Hz zu bleiben, würde sich der Schall auch bei 100Hz, 200Hz, usw. addieren. Allerdings kann es bei anderen Frequenzen und den Laufzeitunterschieden in der „Line“ zu Auslöschungen kommen. Um das zu vermeiden wird die „Line“ gedämpft, um den Effekt zu minimieren. Dies gelingt erfahrungsgemäß nicht ganz und daher findet man oft einen Frequenzgangeinbruch in der Nähe der ersten Oktave der Tuningfrequenz.

Rein theoretisch besitzen geschlossene Boxen die idealsten Voraussetzungen für eine qualitativ



gute Lautsprecherbox. Ihnen wird das beste Impulsverhalten nach gesagt, was sich auch mathematisch darstellen lässt. Allerdings leiden die geschlossenen Boxen, auch „Closed Box“ genannt, unter einer schlechten Empfindlichkeit im Bassbereich. Im Gegensatz zu der Transmissionline oder Bassreflexkonstruktion muss die Membran in einer „Closed Box“ Auslenkungen ausüben, um vergleichbare Pegel zu erreichen. Das führt zu starken Kompressionserscheinungen, was sich wiederum auf den Klang negativ auswirken wird.

Hornlautsprecher sind bekannt für ihre recht hohe Empfindlichkeit. Im Bassbereich findet man nicht selten eine Schallpegelerhöhung die 10dB erreicht. Ähnlich wie bei der Transmissionline würden Hörner im Bassbereich sehr große Dimensionen erreichen, weshalb sie praktisch gesehen nur als gefaltete Hörner aufzufinden sind. Je nach Konstruktion müssen die Hörner im Bassbereich mehrere Meter Länge haben, weshalb Hörner oft nur im oberen Bassbereich zu finden sind und ihnen deshalb wenig Tiefbass nachgesagt wird. Bedingt durch die Konstruktion kann es oder wird es zu starken Gegenwirkungen mit dem Hörraum kommen, denn z.B. Ecken und angrenzende Wände können als Hornverlängerung wirken. Durch ihre offene und ungedämpfte innere Konstruktion wird das Horn auch Einfluss auf den Grund- und Mittelton haben. Dem gegenüber steht eine sehr gute Impulswiedergabe und natürlich ein guter Wirkungsgrad.

Wie zu sehen ist, bieten die unterschiedlichen Arten von Boxen ihre Vorteile, aber auch Nachteile. Dies hat man bei SETA-AUDIO vor vielen Jahren erkannt und ist dem nachgegangen mit dem Ziel, eine Lautsprecherkonstruktion zu erreichen, die sich der Stärken der vorher genannten Varianten bedient, jedoch die Nachteile der einzelnen Konstruktionen nicht aufweist. Die Entwicklungsziele lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen:

1. Gutes Impulsverhalten
2. Hoher Wirkungsgrad
3. Bruchlose Frequenzgangankopplung an den Grundton
4. Keine Kompressionserscheinungen

Diese Ziele in Einklang zu bekommen ist keine einfache Aufgabe gewesen und bei SETA-AUDIO hat man dafür jahrelange Arbeit gesteckt. Immer wieder wurden Aufbauten verworfen, nochmals überprüft und wieder neu zusammengestellt. Selbst das Gebiet der Aerodynamik wurde mit in die Entwicklung einbezogen, besonders als es um die Eliminierung von Kompressionen im Gehäuseinneren ging.

Das Ergebnis ist eine völlig neue Boxenkonstruktion, das SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse, das, wie das SETA AUDIO SOLID DOME Chassis, als Patent angemeldet wurde.

3.1 SETA AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse Merkmale

In diesem Teilabschnitt wird es darum gehen, das SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse näher zu beschreiben und anhand von einigen Messungen die Funktionsweise zu erläutern.



Abbildung 3.1: SETA AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse

Abb. 3.1 zeigt das SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse in Form des SETA-AUDIO BESA LS Lautsprechers. Eine der Besonderheiten des Gehäuses – man könnte fast sagen das Markenzeichen – ist sofort erkennbar: die Austrittsöffnungen im unteren Bereich der Lautsprecherbox. Wie zu sehen, sind diese flächenbezogen sehr großzügig ausgefallen und stehen in Verhältnis zur Fläche der Tief-Mitteltöner. Erfahrene Lautsprecherentwickler erkennen daran, dass es sich bei dieser Konstruktion nicht um gängige Anwendungen handeln kann. Die große Fläche ist erforderlich um eins der Entwicklungsziele zu erreichen, nämlich die annähernd kompressionsfreie Wiedergabe. Die Lautsprecherchassis sollen ungehindert im gesamten Frequenzspektrum, ähnlich der Montage in einer offenen Schallwand, ihre Arbeit ausführen. Um jedoch Interaktionen mit dem rückwärtigen Schall zu vermeiden, besitzt das SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse im Inneren eine definierte Anordnung von Schallablenkungselementen, die dafür sorgen, dass nur gezielte Schallanteile nach außen durch die Öffnungen gelangen können und sich bruchlos mit dem vom Chassis abgegebenen Schall addieren. Je nach Größe des Gehäuses wird dies bis zum Grundton geschehen, ähnlich dem, was man von Hornlautsprechern her kennt. Wie bereits in Kapitel 2.1 besprochen, führt das z.B. bei der SETA-AUDIO BESA CS dazu, dass der Lautsprecher bereits ohne Weiche einen sehr ausgeglichenen Frequenzgang aufweist, da nicht nur wie bei Bassreflexboxen der Bass verstärkt wird, sondern auch der Grundton.

Hiermit wären zwei positive Eigenschaften von anderen Konstruktionen (Bassreflex und Horn) in eins vereint, ohne jedoch die jeweiligen besprochenen Nachteile zu besitzen. Dies bedeutet eine sehr gute Bassausbeute wie bei Bassreflex oder Transmissionline, aber auch eine nahtlose

Anbindung an den Grundton, wie bei Hörnern, ohne jedoch raumabhängig zu sein. Im Gegensatz zu Bassreflexboxen sind die SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse frei von jeglichen Strömungsgeräuschen, wodurch Bass- und Klangwiedergabe nicht beeinträchtigt wird.

Wenn man sich über die Masse der SETA-AUDIO BESA LS bewusst ist, die über 140cm hoch ist, dann könnte man auf die Idee kommen, dass so ein Gehäuse mit stehenden Wellen zu kämpfen hat. Dass dem nicht so ist, soll folgende Impedanzmessung zeigen.

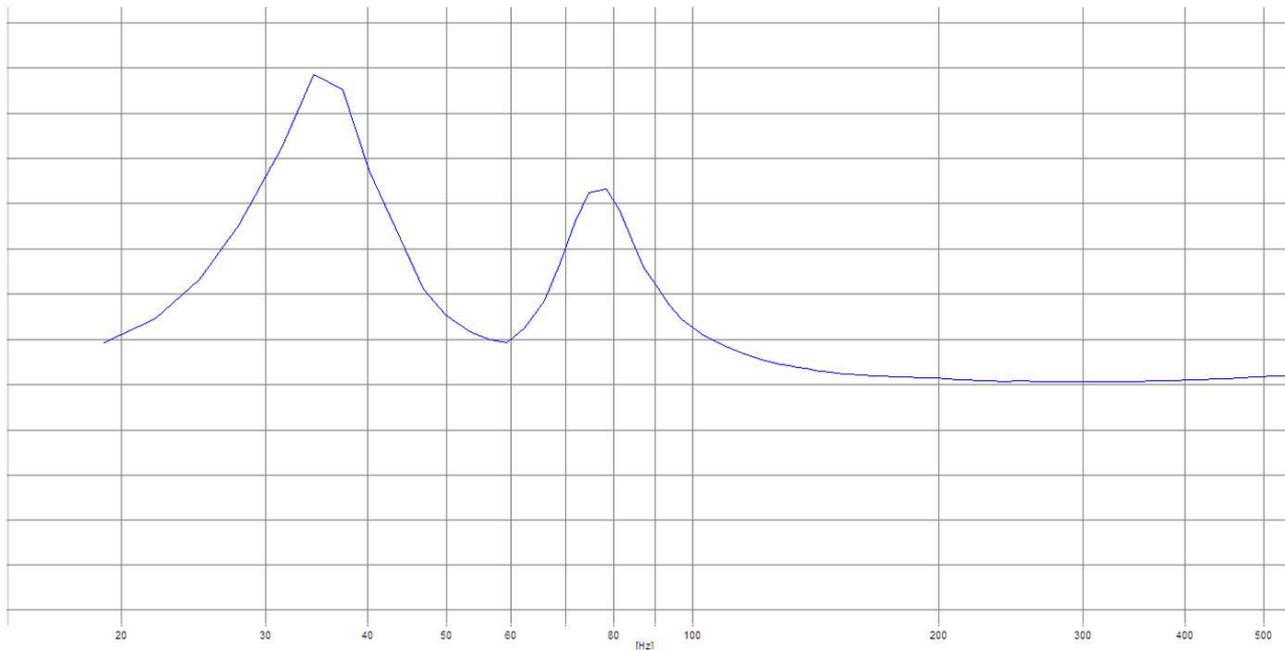


Abbildung 3.2: Impedanzmessung der SETA AUDIO BESA LS

Deutlich ist aus der Abbildung 3.2 zu sehen, dass das CLUSTERFLEX Gehäuse unter keinen stehenden Wellen leidet, obwohl, wie schon gesagt, dieses Gehäuse ohne Dämmmaterial im Inneren auskommt.

Für den etwas weniger Erfahrenen soll folgende Messung verdeutlichen, wie sich stehende Wellen im Inneren einer Lautsprecherbox bemerkbar machen.

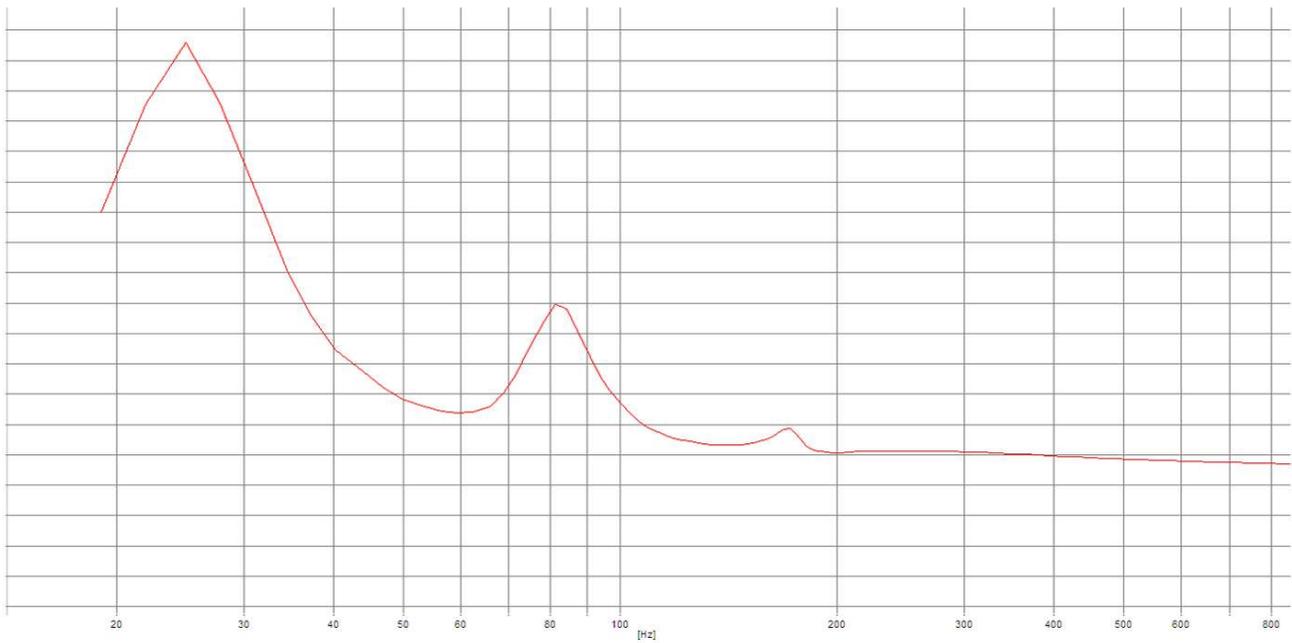


Abbildung 3.3: Impedanzmessung mit stehender Welle

Wenn man die Impedanzgänge von Abbildung 3.2 und 3.3 genauer betrachtet, dann wird man erkennen, dass die Messung in Abbildung 3.3 eine kleine Impedanzspitze unterhalb von 200Hz aufweist. Diese rührt von einer stehenden Welle. Die Impedanzmessung der SETA-AUDIO BESA LS in Abbildung 3.2 lässt solches nicht erkennen. Die traurige Bilanz dieser Gegenüberstellung ist, dass der namhafte Hersteller des Lautsprechers in Abbildung 3.3 damit geworben hat, dass seine Lautsprecherbox keine stehenden Wellen besitzt, weil alle Gehäusewände nicht parallel zueinander stehen. Erfahrene Lautsprecherentwickler wissen, wie schwer es ist, durch so eine Konstruktionsmaßnahme tatsächlich stehende Wellen zu vermeiden. Demgegenüber zeigt die Konstruktion des SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuses, dass es, ohne Einschränkung auf Dimensionen, stehende Wellen erfolgreich unterdrücken kann und das ohne Nutzung von Dämmmaterial.

Ein weiteres Merkmal des SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuses ist seine extrem stabile Konstruktion, die praktisch frei ist von jeglichen Gehäuseresonanzen. Wenngleich es unterschiedliche Auffassungen gibt, wie der Aufbau einer Lautsprecherbox sein soll, steht für SETA-AUDIO fest, dass das Gehäuse dem Klang keine Resonanzen beifügen darf. Aus diesem Grund werden die größeren Boxen, wie die SETA-AUDIO BESA LS und BESA CS aus 38mm starken MDF hergestellt. Zusammen mit dem im Inneren befindlichen Schallablenkungselementen ergibt das eine sehr stabile Einheit, die so gut wie keine Materialresonanzen besitzt, die den Klang negativ beeinflussen könnten.



3.2 SETA AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse Eigenschaften

Wie in den vorherigen Abschnitten gezeigt und beschrieben wurde, verfügt das SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse über einzigartige Besonderheiten, die es uneingeschränkt in die Spitzentechnologie des heute Machbaren positioniert. Aus messtechnischer, aber auch hörtechnischer Sicht wären folgende Eigenschaften hervorzuheben:

1. Sehr stabile Konstruktion, die es verhindert, dass das Gehäuse zu Resonanzen neigt, die sich ansonsten klangverfälschend auswirken könnten.
2. Das Gehäuseprinzip vereinigt, vereinfacht gesagt, die Vorteile vieler gängiger Konstruktionen, ohne jedoch deren Nachteile aufzuweisen. Dadurch ergibt sich eine sehr gute Bassausbeute, ein bruchloser Übergang in den Grundton und eine sehr gute Impulswiedergabe.
3. Da das SETA-AUDIO CLUSTERFLEX Gehäuse ohne nennenswerte Dämmung auskommt, können Chassis in ähnlicher Art und Weise betrieben werden wie in offenen Schallwänden. Dadurch unterliegen die Lautsprecher so gut wie keinen Kompressionserscheinungen, was zu einer wesentlich authentischeren und natürlicheren Klangwiedergabe führt.
4. Durch die Schallablenkungelemente wird nicht nur eine kompressionsfreie Wiedergabe erreicht, sondern auch stehende Wellen werden komplett verhindert.



4. Allgemeine Hinweise

Alle Messungen der SETA AUDIO Lautsprecher wurden mit dem ATB 701 QC Meßsystem von Kirchner Elektronik durchgeführt.

<http://www.kirchner-elektronik.de/>

Die Simulationen wurden mit importierten Meßdaten erstellt. Dazu wurde das Programm BOXSIM benutzt, das als Freeware im Internet verfügbar ist. Die Veröffentlichung der Ergebnisse geschieht mit freundlicher Genehmigung von BOXSIM.

<http://www.boxsim.de/>