

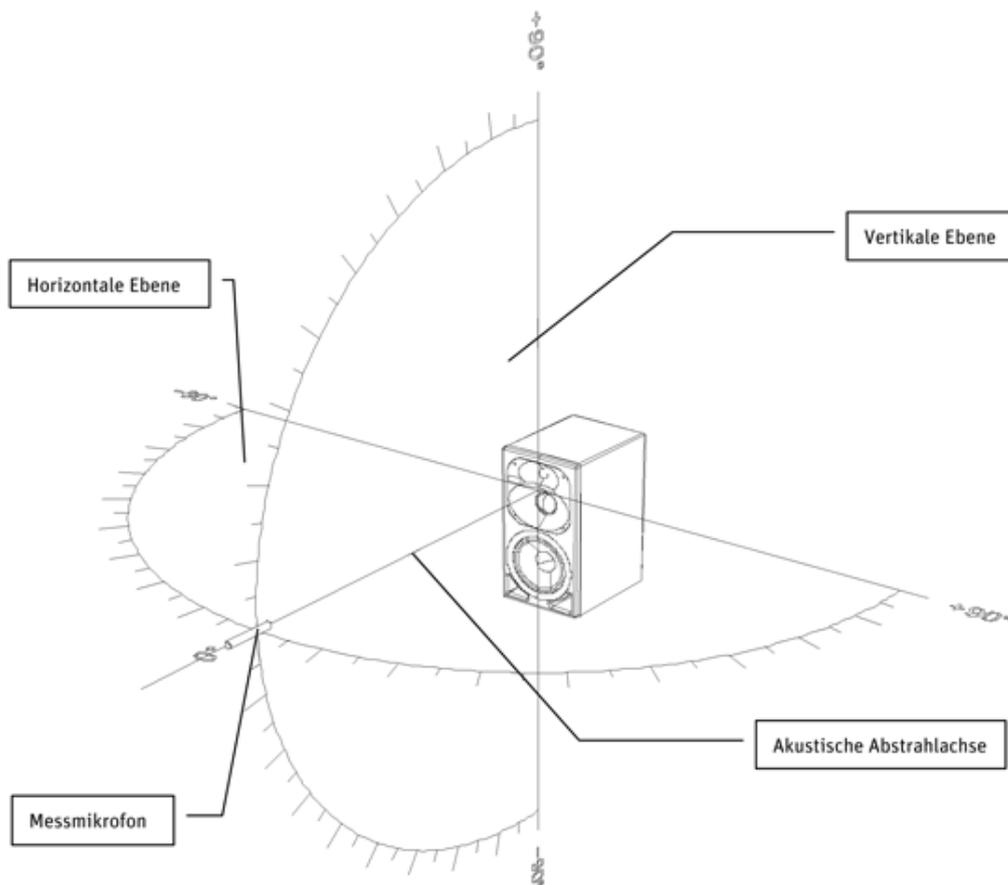
## ERLÄUTERUNG DER MESSKURVEN

### **Abstrahlcharakteristik (Bündelung)**

Schall wird vom Lautsprecher in mehr als eine Richtung ausgegeben. Wenn sich der Hörer von der akustischen Mittelachse entfernt, verringert sich in der Regel der Pegel der hohen Frequenzen stärker als der Pegel der tiefen Frequenzen. Dies liegt an der Relation von Wellenlänge und Schallabstrahlfläche: Bei einer gegebenen Lautsprechermembran haben tiefe Frequenzen eine große Wellenlänge in Bezug auf die Dimension des Lautsprechers und breiten sich daher omnidirektional aus. Hohe Frequenzen hingegen haben im Verhältnis zur Membrangröße kleine Wellenlängen und werden daher gebündelt wiedergegeben. Man kann nun die Art, in der mittlere und hohe Frequenzen vom Lautsprecher abgestrahlt werden, mit einem Waveguide (einem akustischen Horn) steuern bzw. beeinflussen. Das Abstrahlverhalten eines Basstreivers lässt sich mit einem akustischen Horn nicht sinnvoll steuern, da dieses aufgrund der großen Wellenlänge der Bässe sehr groß sein müsste.

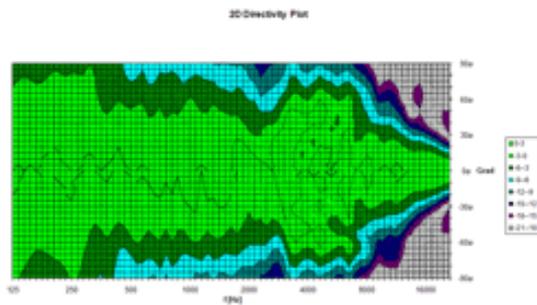
Auch wenn der Hörer sich auf der akustischen Hauptachse befindet, besteht der Gesamtschall an der Hörposition aus der Summe von direktem axialen Schall und reflektiertem außeraxialen Schall. Erstens sollte der Frequenzgang des Direktschalls so linear wie möglich verlaufen. Zweitens wird der Schall außerhalb der Hauptachse von den Oberflächen des Raums (Geräte, Möbel und Wände) reflektiert. Durch die akustischen Eigenschaften der reflektierenden Oberflächen wird dieser reflektierte Schall auf irgendeine Weise verfälscht und in seinem Pegel bedämpft, obwohl man diese nachteiligen Auswirkungen durch guten akustischen Ausbau des Raumes minimieren kann. Der vom Lautsprecher außerhalb der Hauptachse abgestrahlte Schall sollte nicht verfälscht sein, da andernfalls die Akustik des Raums diesen zusätzlichen klanglichen Faktor beherrschen muss, was schwierig ist. Wenn schließlich nichtlineare Nachhallzeiten im Raum vorhanden sind, wird das Ergebnis an der Hörposition ebenfalls verfälscht.

Um zu erfassen, wie sich Schall ausbreitet, sind viele Messungen im Umfeld des Lautsprechers erforderlich. Damit man nicht jeden Winkel in allen Richtungen messen muss, werden normalerweise nur die horizontalen und vertikalen Ebenen mit einer Auflösung von 5 Grad gemessen. Aus diesen Daten kann man mittels Interpolation die Frequenzgänge der nicht gemessenen Winkel ableiten. Weiterhin kann man mittels Symmetrien die Anzahl an notwendigen Messungen weiter verringern.

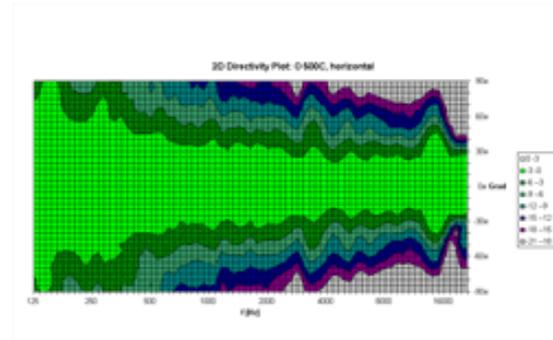


Anordnung zur Bestimmung des Abstrahlverhaltens

Mit den gemessenen Daten lassen sich viele verschiedene Diagramme der Bündelung, des Abstrahlverhaltens, der Isobare, der Richtcharakteristik, des Abstrahlungsindex/-faktors, der Schallenergieverteilung etc. zeichnen. Häufig werden die Daten noch zusätzlich nachbearbeitet: Frequenzglättung, Pegelnormalisierung etc. Zeichnungen des Abstrahlverhaltens zeigen die Frequenzen auf der horizontalen Achse und den Winkel auf der vertikalen Achse. Der Schallpegel bei bestimmten Frequenzen und bestimmten Winkeln wird mit unterschiedlichen Farben dargestellt. Die folgenden Beispiele zeigen einen großen 3-Wege-Lautsprecher ohne Bündelungssteuerung (direkt auf die Vorderwand montierte Treiber) und einen großen mit Waveguide ausgerüsteten 3-Wege-Lautsprecher. Die breitere Streuung bei tieferen Frequenzen ist bei beiden Lautsprechern erkennbar. Bei höheren Frequenzen ist im Bereich 3 – 6 kHz das Fehlen einer Bündelungssteuerung deutlich erkennbar (linke Zeichnung). Da der von diesem Lautsprecher außerhalb der Hauptachse erzeugte Schall ziemlich verfärbt ist, wird auch der an der Hörposition wahrgenommene Schall verfälscht sein, besonders in schlecht ausgebauten Räumen.



Lautsprecher ohne Bündelungssteuerung

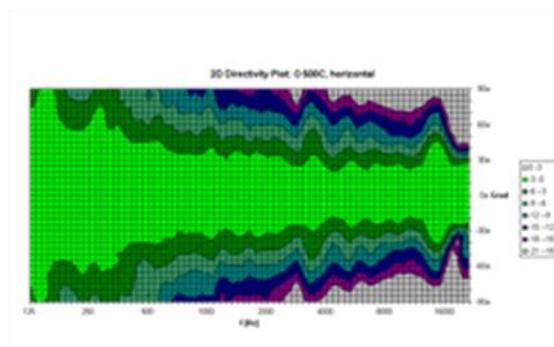


Lautsprecher mit Bündelungssteuerung (O 500 C)

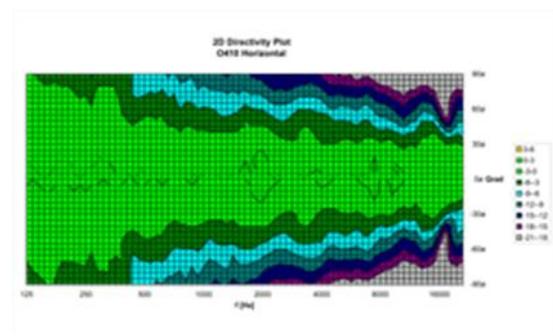
Bei dem Lautsprecher ohne Bündelungssteuerung ist der Frequenzbereich von 1 – 7 kHz deutlich stark erweitert. Sein Klang wird daher in Räumen mit nicht so optimaler Akustik verfälscht werden. Zudem erzeugt die stark verengte Abstrahlung der Höhen einen schmalen Sweet Spot in diesem Frequenzbereich.

In der Vergangenheit hat man bei der Entwicklung von Waveguides einen physischen Prototyp aus Ton angefertigt und diesen mit Messungen in reflexionsarmen Räumen überprüft. Bei inkorrekten Ergebnissen musste man erneut einen physischen Prototyp herstellen und ein neues Set von Messungen durchführen. Heutzutage werden die Waveguides in Neumann Lautsprechern so lange schrittweise mit Hilfe akustischer Modelle am Computer entwickelt, bis das Ziel erreicht ist. Dann muss nur noch eine Nachweisprüfung der endgültigen Konstruktion mit einer Messung im reflexionsarmen Raum durchgeführt werden (Mathematically Modeled Dispersion™ Waveguide, MMD™). Hierbei geht man analog zu der Art und Weise vor, mit der die Aerodynamik von Fahrzeugen mit Hilfe von Computern, Tonmodellen und Windkanälen entwickelt wurde und wird.

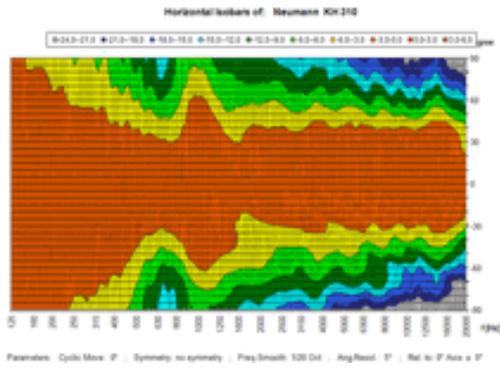
Das Waveguide soll ein konstantes Abstrahlverhalten im Bereich der Trennfrequenz(en) und darüber hinaus liefern. Idealerweise sollten alle Modelle den gleichen generellen Charakter beim Abstrahlverhalten besitzen, damit man die Produkte mischen und anpassen kann, um angemessen spezifizierte Beschallungssysteme zusammenzustellen. Hier sind vier Beispiele aus der Neumann Produktlinie.



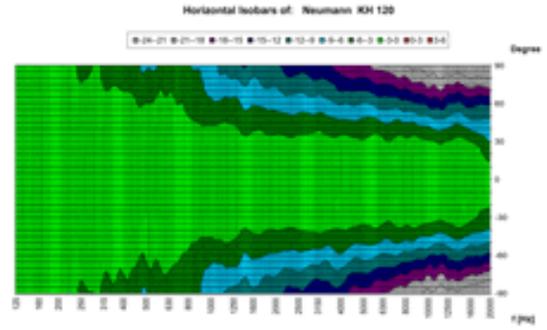
O 500



O 410



KH 310



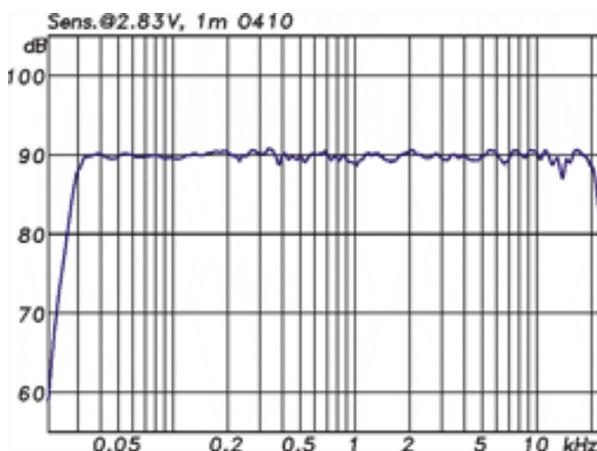
KH 120



### Frequenzgang

Wenn man die Fourier-Transformation einer Zeitreihe vornimmt, erhält man als Ergebnis einen komplexen Frequenzgang. Bei Lautsprechern handelt es sich bei der zu transformierenden Zeitreihe um die Impulsansprache / Impulsantwort. Unter Impulsantwort versteht man das Ansprechverhalten des Lautsprechers auf einen empfangenen Impuls, manchmal auch „Dirac-Impuls“ genannt. Dieser Impuls ist theoretisch unendlich kurz und besitzt unendlich hohen Pegel. In der Praxis vergleichbar mit – z. B. einem Pistolenschuss oder einem platzenden Luftballon. Die Impulsansprache liefert eine vollständige Beschreibung eines linearen zeitinvarianten Systems (in diesem Fall: ein Lautsprecher mit mittlerem Wiedergabepegel). Da in der Akustik ein komplexer Frequenzgang in seiner Rohform nicht einfach zu interpretieren ist, werden der Amplituden- und Phasengang so berechnet, dass man die „Amplitude des Frequenzgangs“ und die „Phase des Frequenzgangs“ erhält. Diese Begriffe werden normalerweise abgekürzt und als „Frequenzgang“ und „Phasengang“ bezeichnet. Schließlich wird die Amplitude normalerweise in Dezibel konvertiert, da unsere Wahrnehmung des Schalldrucks logarithmisch verläuft und einfacher auf einer logarithmischen Skala auszuwerten ist.

Idealerweise sollte ein präziser Lautsprecher unter reflexionsarmen Bedingungen einen linearen Amplitudenverlauf des Frequenzgangs über den gesamten hörbaren Frequenzbereich (20 – 20k Hz) besitzen. Technisch ist dies nicht möglich, aber wir kommen dem Ziel jedoch recht nahe. Tiefe Frequenzen werden systembedingt mit einer bestimmten Steilheit bedämpft. Außerdem treten auch im Durchlassbereich Abweichungen vom perfekt linearen Frequenzgang auf, die natürlich so minimal wie möglich ausfallen sollten. Das Beispiel unten zeigt einen sehr guten Lautsprecher:



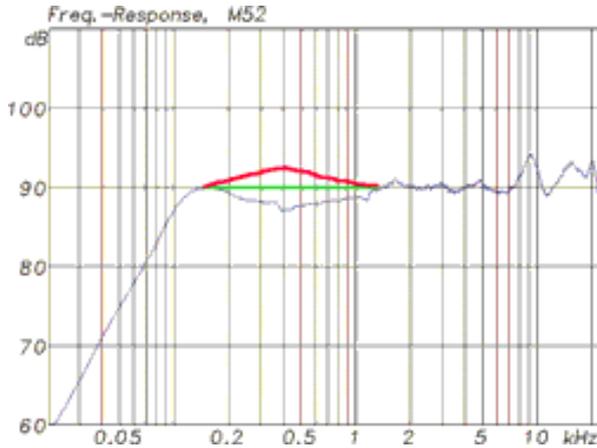
Frequenzgang eines großen 3-Wege-Lautsprechers (O 410)

Bei kleineren oder weniger leistungsfähigen Lautsprechern reichen die Bässe nicht so tief und die Abweichungen vom linearen Frequenzgang sind größer. Diese Abweichungen können begründet sein in einem weniger akkurat durchgeführten Abgleich, in Gehäuse- und Bassreflexkanal-Resonanzen, im Abgleich der Frequenzweiche, in Kantendiffraktionen und in ungeeigneter Treiberwahl.

Manchmal erzeugt man unter reflexionsarmen Bedingungen absichtlich einen nichtlinearen Frequenzgang. Und zwar in Fällen, in denen die typische Lautsprecheraufstellung bekannt ist und der Anwender den Frequenzgang am Lautsprecher selbst nicht einstellen kann. Beispiel: Der M 52 wurde für die Aufstellung in der Nähe von oder auf Mischpulten konzipiert. Diese Aufstellung führt zu einer

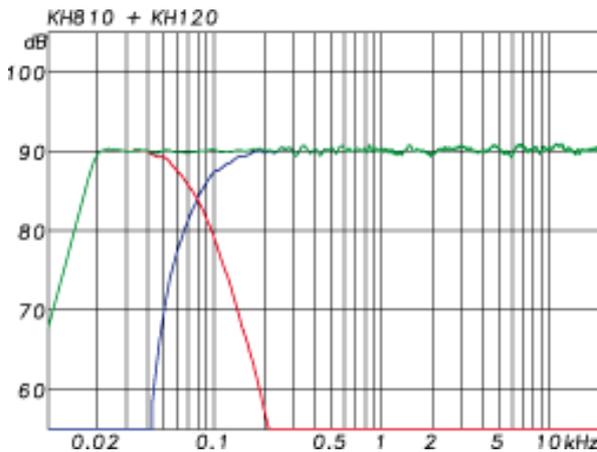


Überbetonung des Frequenzbereichs von 200 – 1000 Hz (rote Kurve), was bereits in der Abstimmung des Lautsprechers berücksichtigt wurde. Das Resultat ist somit ein linearer Frequenzgang im Abhörraum (grüne Kurve).

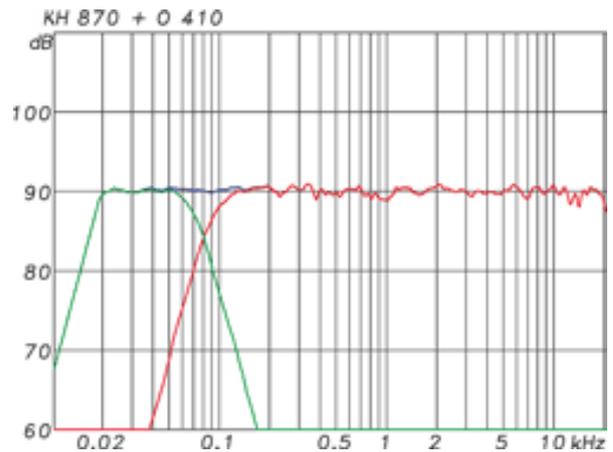


Frequenzgangkompensation der aufstellbedingten Pegelüberhöhung

Die untere Grenzfrequenz eines Lautsprechers lässt sich mit Hilfe eines Subwoofers erweitern. Neben der eigentlichen Frequenzbereichserweiterung bietet das folgende Vorteile: Eine Erhöhung des Maximalpegels und Reduzierung der Verzerrungen der Hauptlautsprecher, der systembedingte Gruppenlaufzeitanstieg verlagert sich zu tieferen Frequenzen. Nachteilig ist jedoch eine Erhöhung der Gruppenlaufzeit im Bereich der Trennfrequenz wegen der zusätzlichen Hoch- und Tiefpassfilterung.



Kleiner 2-Wege-Lautsprecher mit Subwoofer



Großer 3-Wege-Lautsprecher mit Subwoofer

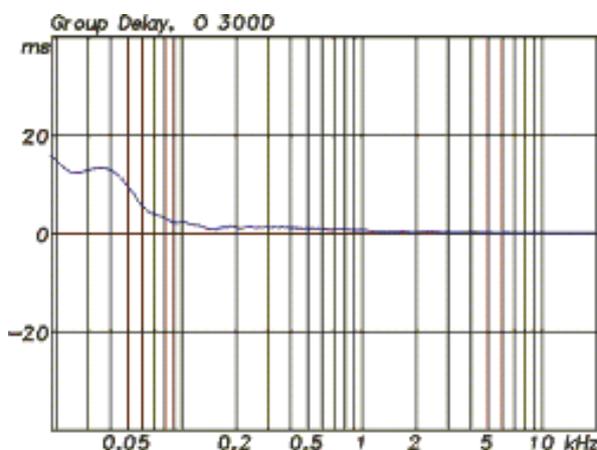


### Gruppenlaufzeit

Wenn man die Fourier-Transformation einer Zeitreihe vornimmt, erhält man als Ergebnis einen komplexen Frequenzgang. Bei Lautsprechern handelt es sich bei der zu transformierenden Zeitreihe um die Impulsantwort. Unter Impulsantwort versteht man das Ansprechverhalten des Lautsprechers auf einen empfangenen Impuls, manchmal auch "Dirac-Impuls" genannt. Dieser Impuls ist theoretisch unendlich kurz und besitzt unendlich hohen Pegel. In der Praxis vergleichbar mit z. B. einem Pistolenschuss oder einem platzenden Luftballon. Die Impulsansprache liefert eine vollständige Beschreibung eines linearen zeitinvarianten Systems (in diesem Fall: ein Lautsprecher mit mittlerem Wiedergabepegel). Da in der Akustik ein komplexer Frequenzgang in seiner Rohform nicht einfach zu interpretieren ist, werden der Amplituden- und Phasengang so berechnet, dass man die „Amplitude des Frequenzgangs“ und die „Phase des Frequenzgangs“ erhält. Diese Begriffe werden normalerweise abgekürzt und als „Frequenzgang“ und „Phasengang“ bezeichnet. Schließlich wird die Amplitude normalerweise in Dezibel konvertiert, da unsere Wahrnehmung des Schalldrucks logarithmisch verläuft und einfacher auf einer logarithmischen Skala auszuwerten ist.

Aus dem Phasengang lässt sich über Differenzierung ( $-\frac{d\phi(\omega)}{d\omega}$ ) die Gruppenlaufzeit bestimmen. Die Gruppenlaufzeit ist die Zeitspanne, die ein schmalbandiges elektrische Eingangssignal zum Durchlaufen des Lautsprechersystems benötigt bis es zu einem akustischen Ausgangssignal wird. Idealerweise sollte die Gruppenlaufzeit bei allen Frequenzen Null betragen, d. h. alle Signalanteile benötigen zum Durchlaufen des Lautsprechers die gleiche Zeit und diese minimal ist. In der Praxis erhöht sich die Gruppenlaufzeit mit abfallender Frequenz aufgrund von elektronischen (Infraschall) Schutzfiltern und der akustischen Hochpassfilterung bestimmt durch die Gehäuseabstimmung. Die Flankensteilheit beträgt bei Bassreflexgehäusen 24 dB/Okt. (entspricht einem Filter 4. Ordnung) und bei geschlossenen Gehäusen 12 dB/Okt. (entspricht einem Filter 2. Ordnung). Je höher die Ordnung des Filters, desto länger die Gruppenlaufzeit. Je niedriger die Eckfrequenz des Filters, desto länger die Gruppenlaufzeit.

In diesem Beispiel wird die Gruppenlaufzeit bei tieferen Frequenzen länger, aber psychoakustische Tests zeigen, dass die angegebenen Werte auf oder knapp unter der Hörschwelle liegen.

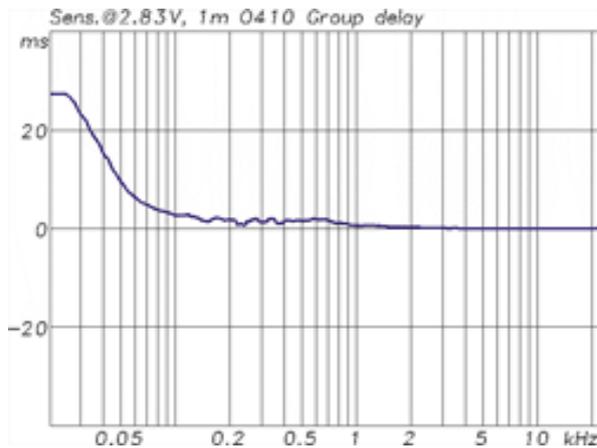


Gruppenlaufzeit eines geschlossenen, kompakten 3-Wege-Lautsprechers

Im folgenden Beispiel scheint ein größerer Lautsprecher eine längere Gruppenlaufzeit zu besitzen. Betrachtet man allerdings den gleichen Frequenzbereich wie im Beispiel oben (>40 Hz), ist die Gruppenlaufzeit gleich. Dies liegt daran, dass die untere Grenzfrequenz des Lautsprechers tiefer liegt.

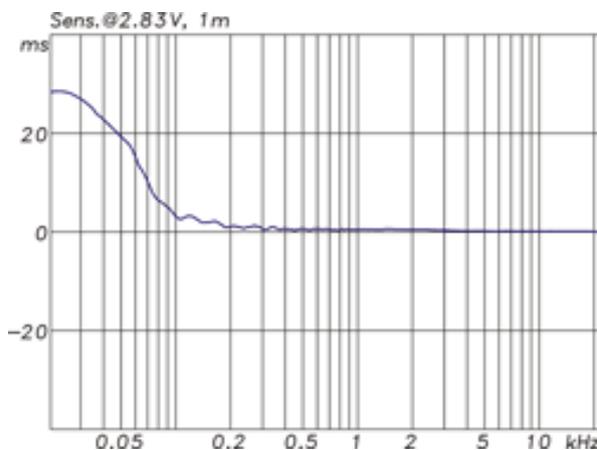


Dieser große Lautsprecher ist zufällig ein Bassreflexsystem, aber er besitzt die gleiche Impulstreue wie ein kompaktes geschlossenes Gehäuse – gemessen über den Frequenzbereich, den der kleinere Lautsprecher reproduzieren kann.

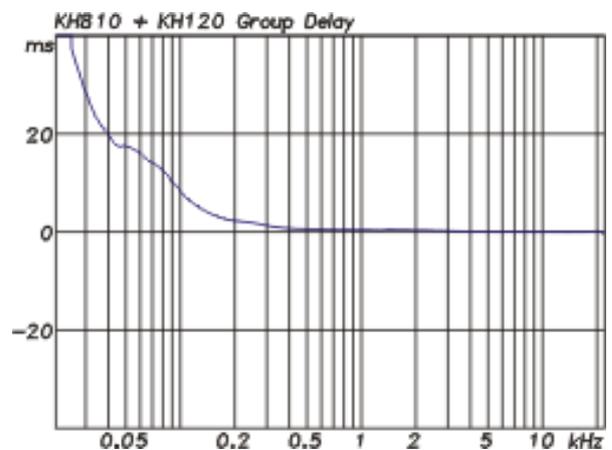


Gruppenlaufzeit eines großen 3-Wege-Lautsprechers

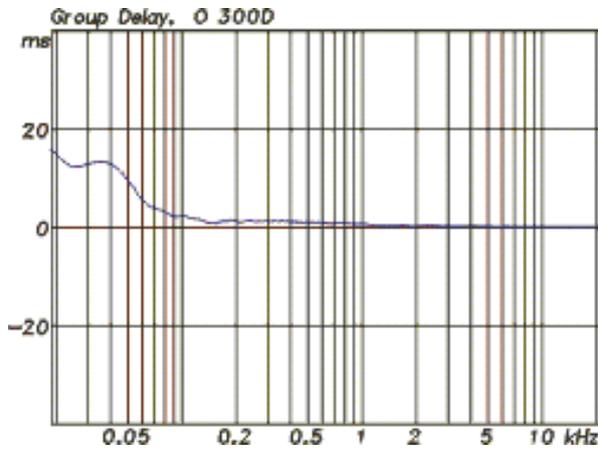
Durch Hinzufügen eines Subwoofers lässt sich der Frequenzbereich eines Lautsprechers nach unten erweitern und der Maximalpegel des Systems erhöhen. Der Gruppenlaufzeitanstieg verschiebt generell sich mit fallender unterer Grenzfrequenz zu tieferen Frequenzen hin, wodurch sich gegenüber der Variante ohne Subwoofer eine trockenere Wiedergabe einstellt. Gleichermaßen erhöht sich allerdings durch die Filterung in der hinzugekommenen Frequenzweiche die Gruppenlaufzeit. Der Gesamtverlauf der Gruppenlaufzeit hängt dann maßgeblich von den gewählten Parametern wie Trennfrequenz, untere Grenzfrequenz und Flankensteilheit ab. Wenn all diese Einflussgrößen optimal aufeinander abgestimmt sind, erhält man mit Subwoofern einen deutlichen Zugewinn an Übertragungsqualität.



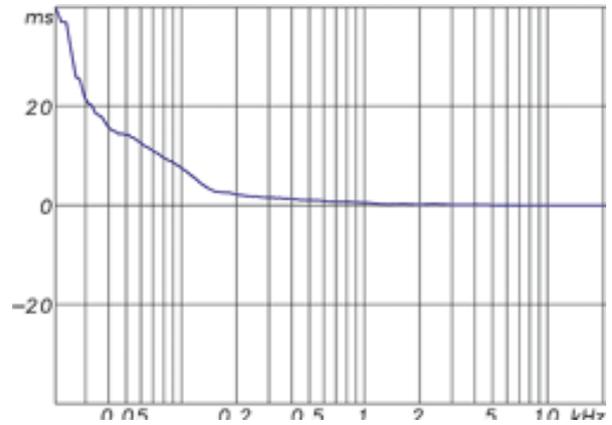
Kleiner 2-Wege-Lautsprecher KH 120



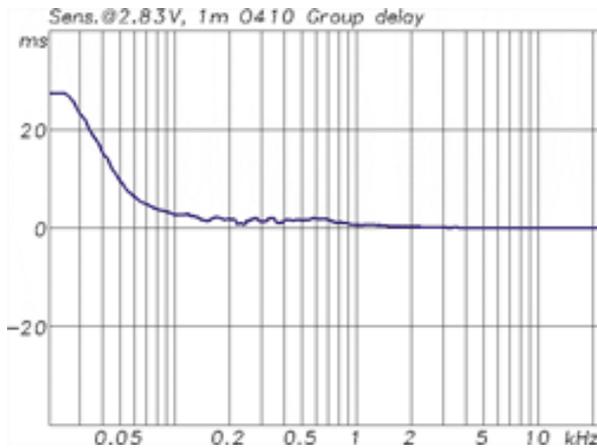
Kleiner 2-Wege-Lautsprecher KH 120 mit Subwoofer KH 810



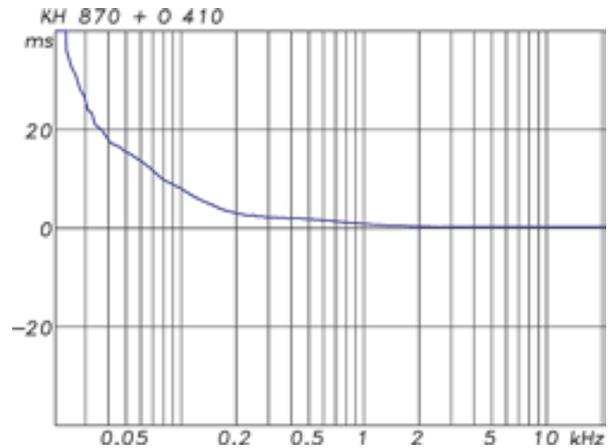
Kompakter 3-Wege-Lautsprecher O 300 D



Kompakter 3-Wege-Lautsprecher O 300 D mit Subwoofer KH 810

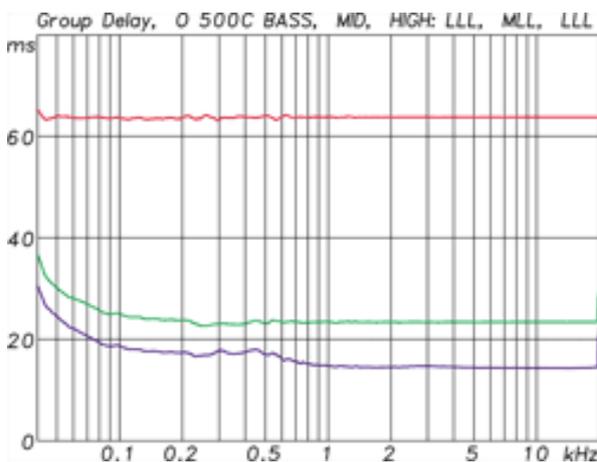


Großer 3-Wege-Lautsprecher O 410



Großer 3-Wege-Lautsprecher O 410  
mit Subwoofer KH 870

Um eine frequenzabhängige Gruppenlaufzeit (blaue Kurve unten) zu beseitigen, kann man eine frequenzabhängige Zeitverzögerung hinzufügen. Das Resultat bezeichnet man als linearphasiges System – alle Frequenzen durchlaufen das System in der gleichen Zeitspanne (rote Kurve). Obwohl ein linearphasiger Lautsprecher sehr gut klingt, muss man dafür eine gewisse Latenz in Kauf nehmen. Man kann die Gruppenlaufzeit auch nur teilweise korrigieren, in diesem Fall bis hinunter auf circa 100 Hz (grüne Kurve). Damit korrigiert man einen Großteil des Frequenzgangs und hält gleichzeitig die Latenz auf einem akzeptabel niedrigen Wert.



Gruppenlaufzeit-Betriebsarten eines FIR kontrollierten  
DSP-Lautsprechers: linear (LLL), mixed (MLL), minimum (MMM)

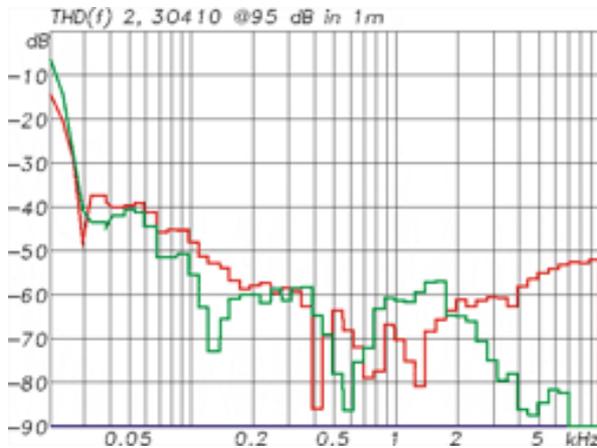


### Harmonische Verzerrungen

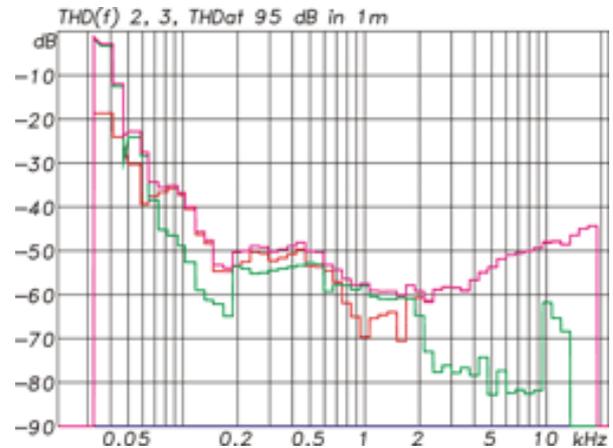
Lautsprecher leiden unter linearen und nichtlinearen Verzerrungen. Unter linearen Verzerrungen versteht man frequenzabhängige Amplituden- oder Phasen- (Gruppenlaufzeit)schwankungen (siehe Frequenzgang, Gruppenlaufzeit). Während lineare Verzerrungen die Wiedergabe also tonal verfärben oder die Impulshaftigkeit beeinträchtigen fügen nichtlineare Verzerrungen dem akustischen Ausgangssignal neue Frequenzen hinzu, die im elektrischen Eingangssignal nicht enthalten waren. Um dies zu messen, wird eine Frequenz (die Grundwelle, z. B. 100 Hz) mit einem bestimmten Pegel in den Lautsprecher eingespeist. Das vom Lautsprecher wiedergegebene Signal enthält jetzt neben dieser Grundwelle noch zusätzliche Frequenzen und eine Frequenz über dieser Testfrequenz, gemessen wird oberhalb dieser (Oberwellen). Das Doppelte der Grundwelle ist die zweite Harmonische (200 Hz), das Dreifache ist die dritte Harmonische (300 Hz) usw. Indem man die Grundwelle verschiebt, kann man ein Diagramm der frequenzabhängigen nichtlinearen Verzerrungen zeichnen. Der Klirrfaktor (Total Harmonic Distortion/THD) ist das Verhältnis der Summe aller Oberwellen (zweite + dritte + vierte ...) zur Grundwelle. Häufig, aber nicht immer, werden in die Berechnung auch noch Störgeräusche als Teil des Ausgangssignals einbezogen, die am Eingang nicht vorhanden waren (THD+N).

Nichtlineare Verzerrungen kann man in Dezibel oder als Prozentsatz ausdrücken. Nichtlineare Verzerrungen 2. Ordnung werden normalerweise durch Asymmetrien im System verursacht und können in geringer Stärke ganz angenehm klingen. Nichtlineare Verzerrungen 3. Ordnung werden normalerweise durch Clipping im System verursacht und klingen sehr unangenehm, z. B. digitales Clipping. Harmonische höherer Ordnung sind i.d.R. leiser als Harmonische zweiter und dritter Ordnung und sollten in einem gut konzipierten System ausreichend gering vorhanden sein. Im Idealfall gilt: Je leiser die nichtlinearen Verzerrungen, desto sauberer oder transparenter klingt der Lautsprecher. Weniger als  $-30$  dB (3%) bei tiefen Frequenzen und weniger als  $-46$  dB (0,5%) bei mittleren/hohen Frequenzen wird als gut angesehen, wobei noch niedrigere Werte natürlich noch besser sind.

Die Zunahme nichtlinearer Verzerrungen verläuft nicht proportional zum Pegelanstieg so dass ein Zuwachs von 10 dB im Testsignal normalerweise in einer viel stärkeren Pegelzunahme der nichtlinearen Verzerrungen resultiert. Daher sollte man die Testbedingungen überprüfen, bevor man die Messungen unterschiedlicher Lautsprecher miteinander vergleicht. Generell leiden größere Lautsprecher weniger unter nichtlinearen Verzerrungen als kleinere Lautsprecher, wenn beide mit dem gleichen Pegel betrieben werden. Weiterhin leiden 3-Wege-Lautsprecher weniger unter nichtlinearen Verzerrungen als 2-Wege-Lautsprecher, da die einzelnen Treiber weniger „arbeiten“ müssen bzw. besser auf den jeweiligen Übertragungsbereich zugeschnitten werden können. Beide Auswirkungen kann man in den folgenden beiden Beispielen zusammen sehen, die mit dem gleichen Schallpegel getestet wurden.



Großer 3-Wege-Lautsprecher O 410



Kleiner 2-Wege-Lautsprecher KH 120

Unglücklicherweise steht die Stärke der nichtlinearen Verzerrungen nicht in direkter Beziehung zur subjektiv empfundenen Klangqualität. Beispiel: Ein Audiosystem mit einem hohen Anteil nichtlinearer Verzerrungen 2. Ordnung kann ganz angenehm klingen, wohingegen das gleiche System mit dem gleichen Pegel an nichtlinearen Verzerrungen 3. Ordnung ziemlich schlecht klingen wird. Messungen nichtlinearer Verzerrungen werden dennoch von Konstruktionsingenieuren gern als Werkzeug zum Aufspüren von Konstruktionsproblemen verwendet.

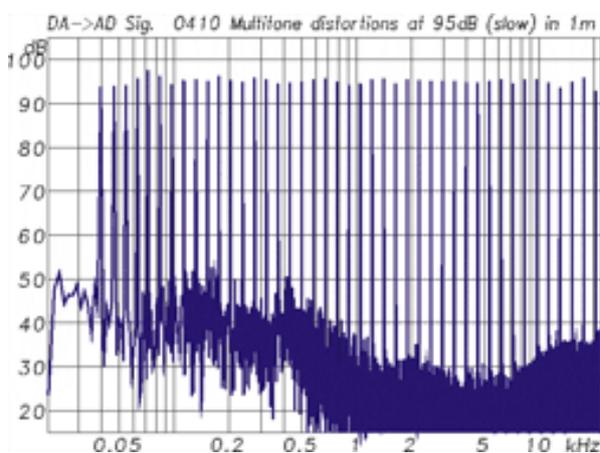
Bei Studiomonitoren, die selbst Messwerkzeuge sind, sind jegliche Veränderungen des Eingangssignals im akustischen Ausgangssignal unerwünscht, gleichgültig ob sie gut klingen oder nicht.



### Intermodulationsverzerrungen

Lautsprecher leiden unter linearen und nichtlinearen Verzerrungen. Unter linearen Verzerrungen versteht man frequenzabhängige Amplituden- oder Phasen- (Gruppenlaufzeit-)schwankungen (siehe Frequenzgang, Gruppenlaufzeit). Während lineare Verzerrungen die Wiedergabe also tonal verfärben oder die Impulshaftigkeit beeinträchtigen, fügen nichtlineare Verzerrungen dem akustischen Ausgangssignal neue Frequenzen hinzu, die im elektrischen Eingangssignal nicht enthalten waren. Man kann nichtlineare Verzerrungen messen, indem man eine einzelne Frequenz in den Lautsprecher einspeist und den Pegel jeder Harmonischen misst. Man kann Verzerrungen aber auch messen, indem man ein komplexeres Signal in den Lautsprecher einspeist und die zusätzlich erzeugten Frequenzen im akustischen Ausgangssignal misst. Das Problem hierbei ist, dass es bei der Lautsprechermessung international keine allgemein gültigen Standards für das Testsignal gibt und Vergleiche der unterschiedlichen Messungen unmöglich sind, solange die Testbedingungen nicht identisch sind. Der Vorteil der Messung von Intermodulationsverzerrungen ist, dass es sich um ein breitbandiges Signal handelt, das sich aus mehreren diskreten Sinussignalen zusammensetzt, im Gegensatz zu dem aus einer einzelnen Sinuswelle bestehenden Signal, die bei der Messung nichtlinearer Verzerrungen (THD) verwendet wird. Intermodulationsverzerrungen sind daher repräsentativer für typisches Programmmaterial und den Einsatz des Lautsprechers.

Das Testsignal wird daher allgemein als „Multiton“ bezeichnet, da es aus mehreren Einzeltönen besteht. Es klingt so, als würde jemand mit beiden Unterarmen auf die Klaviatur einer Orgel drücken. Im folgenden Beispiel sind 43 Töne logarithmisch zwischen 40 und 20 kHz verteilt. Die ganzen Details zwischen diesen Tönen im Diagramm stellen die Intermodulations- und nichtlinearen Verzerrungen dar, die so gering wie möglich ausfallen sollten. Wie bei den nichtlinearen Verzerrungen resultiert ein geringeres Maß an Intermodulationsverzerrungen in einer transparenteren, saubereren Klangqualität. Im Gegensatz zu den nichtlinearen Verzerrungen besteht ein direkter Bezug zwischen dem Pegel an Intermodulationsverzerrungen und der wahrgenommenen Klangqualität, wobei der Grundsatz gilt: je weniger, desto besser.

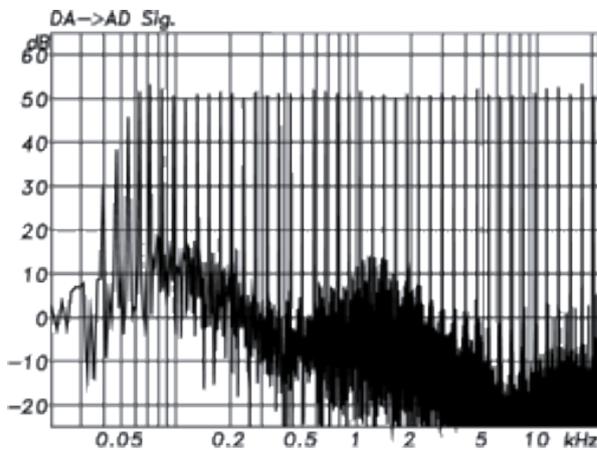


Intermodulationsverzerrungen bei einem großen 3-Wege-Lautsprecher

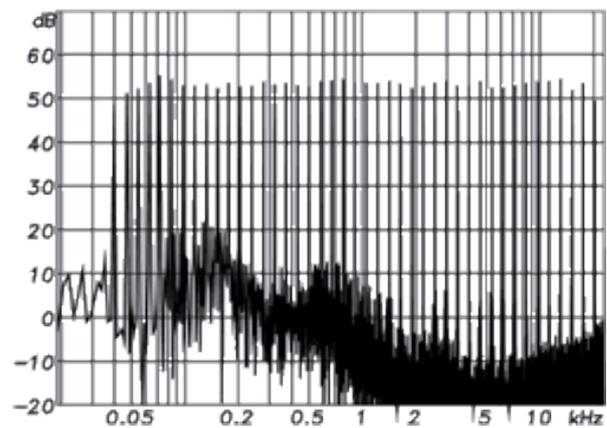


Der Pegelverlauf von Intermodulationsverzerrungen ist nichtlinear, d. h. ein Pegelanstieg im Testsignal um 10 dB resultiert normalerweise in einem viel größeren Pegelanstieg der Intermodulationsverzerrungen. Folglich sollte man immer die Testbedingungen prüfen, bevor man die Messungen unterschiedlicher Lautsprecher vergleicht. Generell leiden größere Lautsprecher weniger unter Intermodulationsverzerrungen als kleinere Lautsprecher, wenn beide mit dem gleichen Pegel betrieben werden. Weiterhin leiden 3-Wege-Lautsprecher deutlich weniger unter Intermodulationsverzerrungen als 2-Wege-Lautsprecher, da die einzelnen Treiber weniger arbeiten müssen.

In den folgenden Diagrammen kann man die Vorzüge eines zusätzlichen Mitteltöner erkennen. Die Intermodulationsverzerrungen im Mittenbereich verringern sich um 10 – 15 dB.

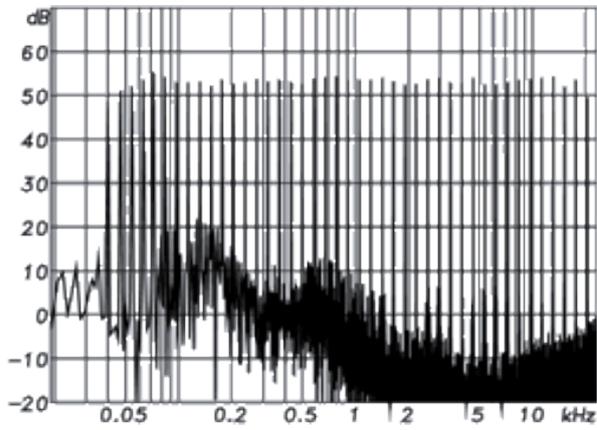


Intermodulationsverzerrungen eines 2-Wege-Lautsprechers

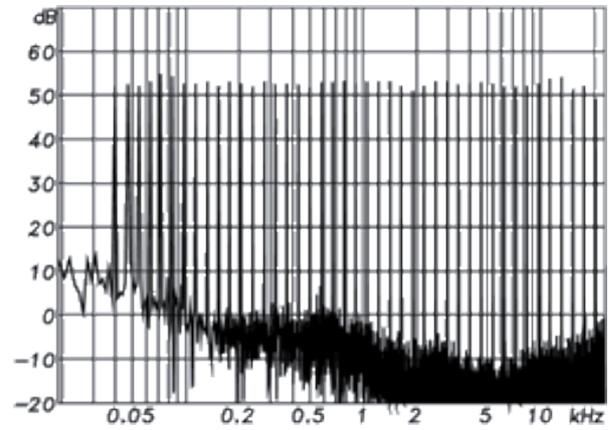


Intermodulationsverzerrungen eines 3-Wege-Lautsprechers

In den folgenden Grafiken kann man den Vorteil erkennen, den das Hinzufügen eines Subwoofers zu einem 3-Wege-System bringt. Die tieffrequenten Intermodulationsverzerrungen werden um 10 – 15 dB verringert und die mittenfrequenten Intermodulationsverzerrungen um etwa 10 dB. Zudem werden Doppler-Verzerrungen im Bereich von 2 – 6 kHz durch Hinzufügen eines Subwoofers entfernt, da sich die Auslenkung des Basstreibers verringert und er diese Frequenzen nicht mehr moduliert. Der Hochfrequenzbereich wird hörbar sauberer. Die Audiotransparenz dieses kompakten 3-Wege/Subwoofer-Systems ist dadurch vergleichbar mit der eines größeren 3-Wege-Systems.



Intermodulationsverzerrungen eines 3-Wege-Lautsprechers



Intermodulationsverzerrungen eines 3-Wege-Lautsprechers mit Subwoofer



### **Klangregler**

Die Akustikregler kompensieren häufige Probleme von Abhörräumen:

#### **Low Cut**

Kompensiert eine fehlende Tieffrequenzbedämpfung

#### **Bass**

Korrigiert die akustische Ladung durch eine Wand

#### **Low-mid**

Korrigiert die akustische Ladung durch eine Stelloberfläche

#### **LF Para EQ**

Kompensiert andere Abweichungen im Tiefton-Frequenzgang i.d.R. bedingt durch Raummoden

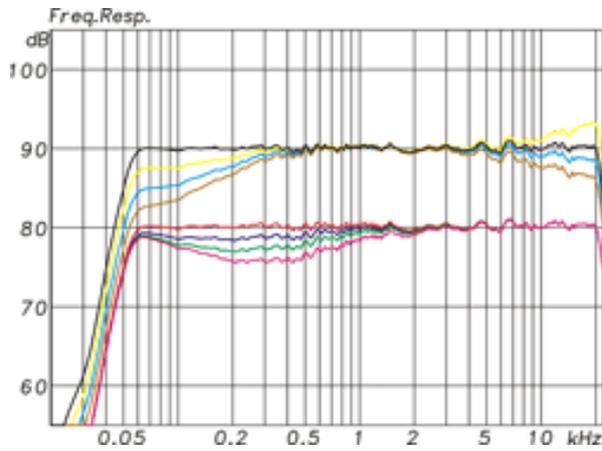
#### **Mid**

Korrigiert schroffe Mitten, die durch die Raumakustik verursacht werden

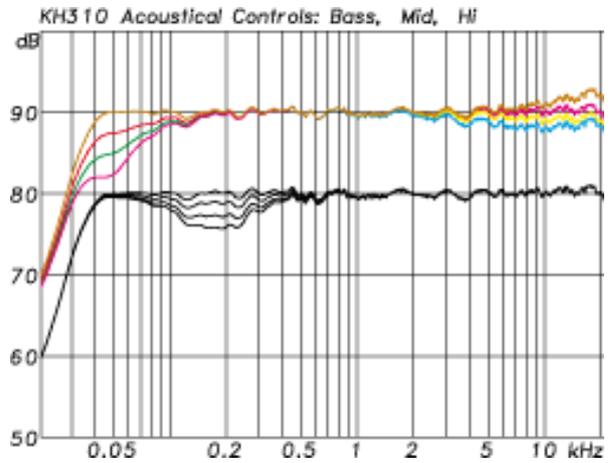
#### **Treble**

Korrigiert über bzw. unterbetonte Höhen, die durch mangelnde oder übermäßige Bedämpfung des Raums verursacht werden

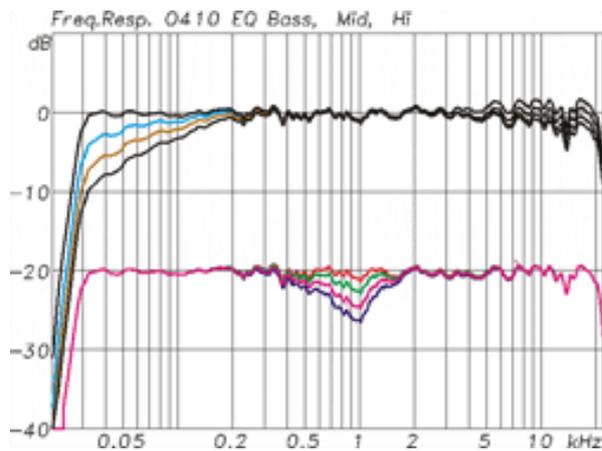
Da die Stärke der Auswirkungen variieren kann, verfügt jeder Regler über vier Einstellungen. Durch Einstellen dieser Regler lässt sich die Audiowiedergabe des Systems erheblich verbessern. Im Bedienungshandbuch finden Sie Einstellungsvorschläge für unterschiedliche Platzierungen eines Lautsprechers im Abhörraum.



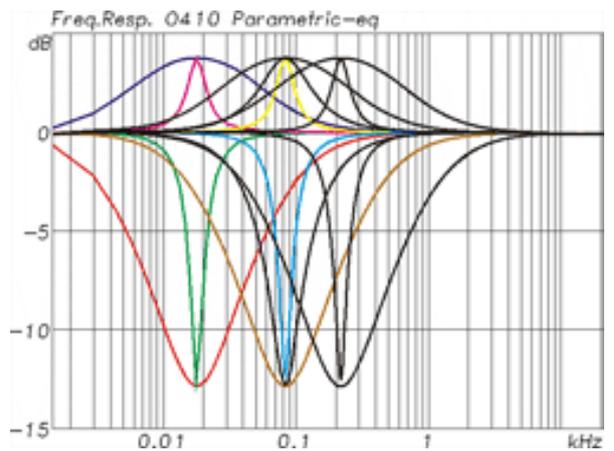
KH 120 Bass-, Low-Mid und Treble-Regler



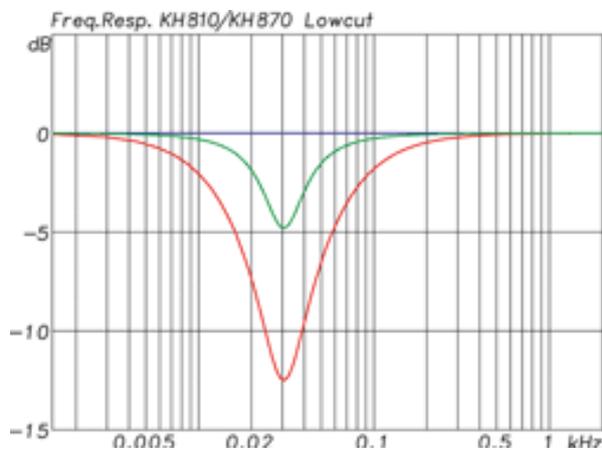
KH 310 Bass-, Low-Mid und Treble-Regler



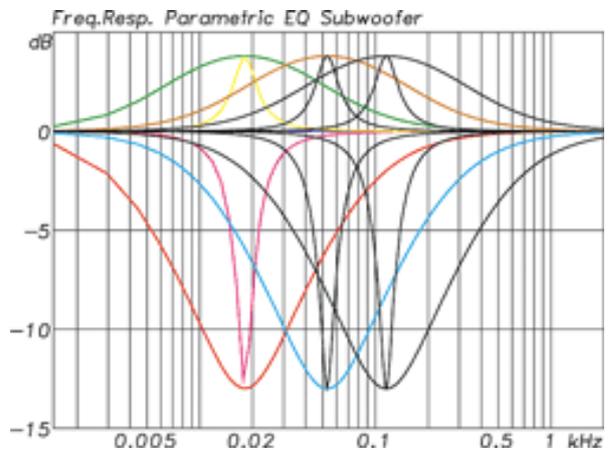
O 410 Bass-, Low-Mid und Treble-Regler



O 410 Parametrischer EQ



KH 810 Tieffrequenz-Sperrfilter



KH 810 Parametrischer EQ



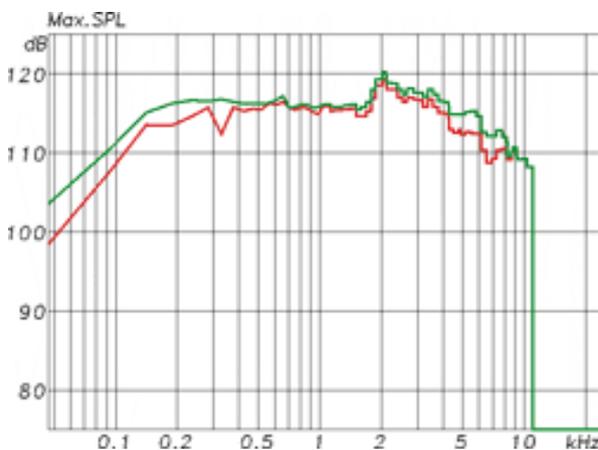
### Maximalpegel (SPL)

Normalerweise werden Maximalpegelwerte (SPL) einfach in Zahlen angegeben. Diese sind allerdings relativ nichtssagend, wenn die Messbedingungen nicht bekannt sind: Frequenzbereich, Testsignal und dessen Dauer, Messtyp, Entfernung zwischen Mikrofon und Lautsprecher, Position des Lautsprechers etc. Als Beispiel wurden hier die technischen Daten des O 410 gewählt:

Maximalpegel im Halbraum bei 3% Klirrfaktor bei 1 m gemittelt zwischen 100 Hz und 6 kHz = 120,0 dB.

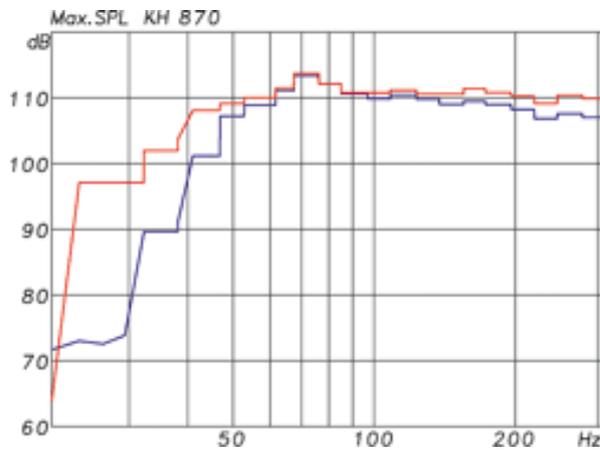
Ändert man eine der Messbedingungen, erhält man einen anderen Wert. Um den Maximalpegel zu messen, wird eine Sinuswelle in den Lautsprecher eingespeist und so lange verstärkt, bis die Verzerrungen einen bestimmten Wert erreichen, z. B. 1% oder 3%. Dann wird der Schallpegel notiert. Indem man die Frequenz der Sinuswelle in einer Sweep-Bewegung verschiebt, kann man ein Diagramm zeichnen oder einen Durchschnittswert errechnen. Alternativ kann man auch ein Breitbandsignal verwenden, z. B. Rosa Rauschen, IEC-bewertetes Rauschen oder „Programmmaterial“ (was auch immer das bedeutet!).

Wie die meisten Aspekte der Akustik ist auch der Maximalpegel frequenzabhängig. Tiefere Frequenzen sind schwieriger mit hohen Pegeln zu reproduzieren, da die Auslenkung der Treiber höher sein muss (um das Vierfache höher bei jeder Halbierung der Frequenz). Dies stellt sich als abfallender Maximalpegel bei sinkender Frequenz dar.

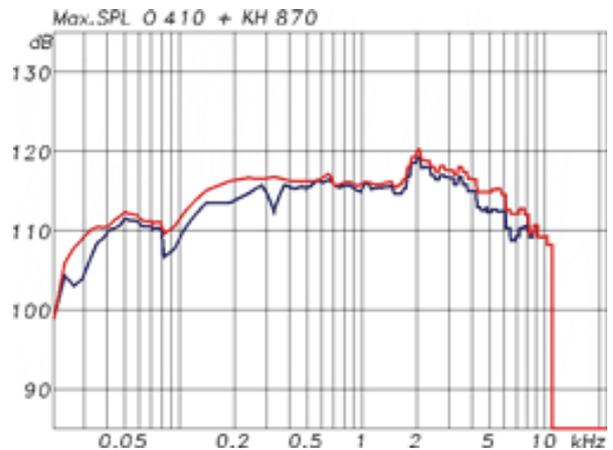


O 410 Nichtlineare Verzerrungen bei 95 dB Schallpegel  
(Rot: 2. Harmonische, Grün: 3. Harmonische)

Den Verlust an Headroom bei tiefen Frequenzen kann man durch Hinzufügen eines Subwoofers zum System ausgleichen:



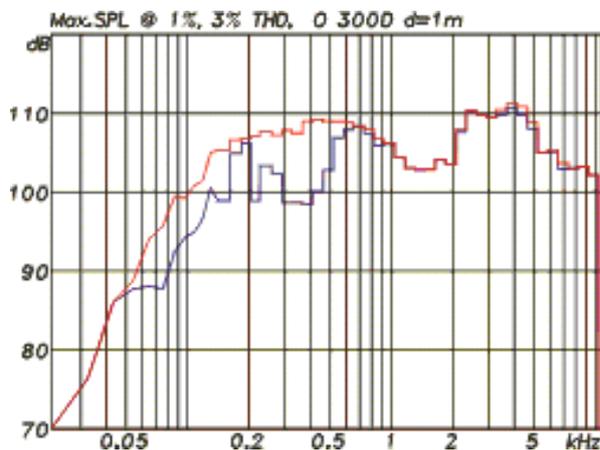
KH 870 Maximalpegel bei 1 m  
(Rot: 3% Klirrfaktor, Blau: 1% Klirrfaktor)



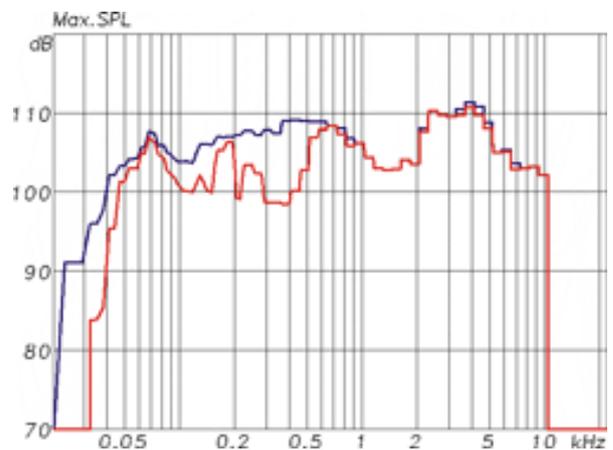
O 410 + KH 870 Maximalpegel bei 1 m  
(Rot: 3% Klirrfaktor, Blau: 1% Klirrfaktor)

Das Hinzufügen eines Subwoofers bewirkt auch ein Absenken der unteren Grenzfrequenz des Systems, eine Verringerung der nichtlinearen und Intermodulationsverzerrungen (im Bass- und Mittenbereich) sowie Änderungen der Gruppenlaufzeit.

Das Hinzufügen eines Subwoofers zu einem kleineren Lautsprecher bewirkt eine dramatischere Verbesserung des Maximalpegels.



O 300 Maximalpegel bei 1 m  
(Rot: 3% Klirrfaktor, Blau: 1% Klirrfaktor)

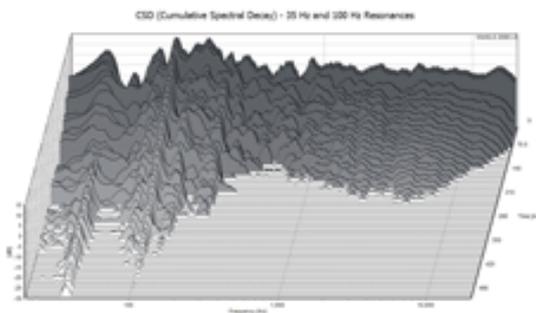


O 300 + KH 810 Maximalpegel bei 1 m  
(Rot: 3% Klirrfaktor, Blau: 1% Klirrfaktor)

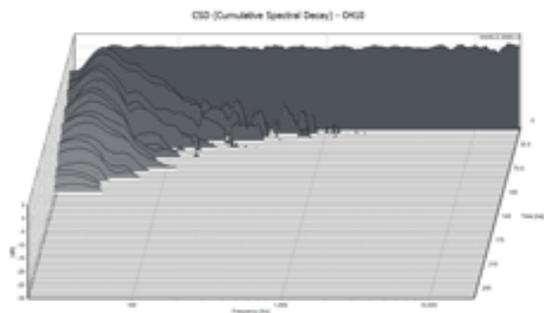


### Zerfallsspektrum (Wasserfall-Diagramm)

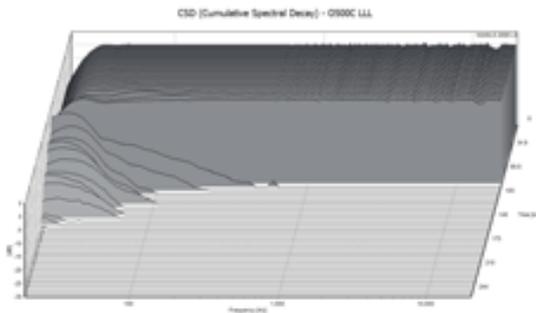
Ein Zerfallsspektrum ist ein Set von Frequenzgängen, die auf einer 3D-Achse aufgezeichnet werden. Die einzelnen Frequenzgänge sind auf der Zeitachse versetzt dargestellt und ergeben zusammen ein Bild davon, wie sich der Lautsprecher beim Ausschalten des anliegenden Eingangssignals verhält. Resonanzen (linkes Diagramm) sind leicht an den langsamer abklingenden „Wellenkämmen“ zu erkennen, die im Diagramm nach vorne auslaufen. Resonanzen können in Lautsprechern und in Räumen auftreten und sollten in beiden Fällen minimiert werden. Lautsprecherresonanzen lassen sich durch Sorgfalt bei der Entwicklung des Lautsprechers verringern. Raumresonanzen lassen sich durch sorgfältige Planung oder eine akustische Behandlung des Raums verringern.



Zerfallsdiagramm eines Raums mit starker Resonanz bei 100 Hz



Zerfallsdiagramm eines Lautsprechers ohne Resonanzen



Zerfallsdiagramm eines linearphasigen DSP-Lautsprechers