

Hör mal, was da wummert



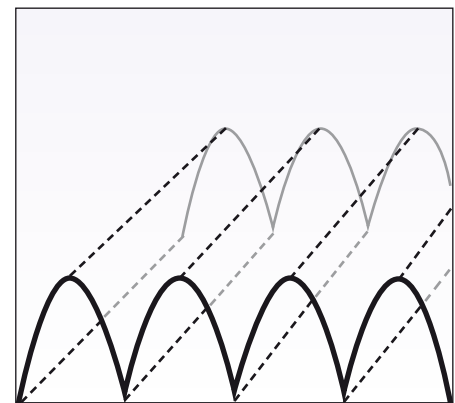
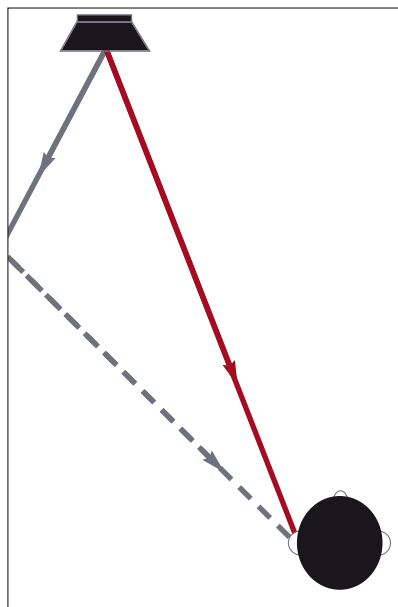
Klingen große Boxen tatsächlich nur in großen Sälen gut? Wie kann ich meinen Hörraum optimieren? In einer zweiteiligen Serie widmet sich Andreas Kunz Tücken und Fallen der **Raumakustik**, gibt Tipps und zeigt Lösungen auf. Er beginnt mit dem leeren Raum.

Die Vorfreude ist riesig, steht doch mit dem Umzug in eine größere Wohnung oder gar ein Haus die Verwirklichung eines Traums bevor: Endlich Musik im eigenen Hörraum genießen, jederzeit den Regler des Verstärkers ohne Einschränkung nach rechts drehen. Perfekt! Doch nicht selten macht sich anschließend Ernüchterung breit, klingt die Anlage deutlich schlechter als vorher. Eine Erfahrung, die Musikfreunde übrigens

nicht nur nach einem Umzug, sondern auch nach einer Renovierung oder einer neuen Möblierung machen. Hochklassige HiFi-Komponenten sind eben nicht alles: Auch der Raum hat entscheidenden Einfluss auf den Klang, in der Regel einen weitaus größeren als etwa Kabel oder Netzleisten. Grund genug, uns in einer zweiteiligen Serie dem Thema Raumakustik zu widmen.

Spielwiese für unsere Untersuchungen ist ein 25 Quadratmeter bezie-

Probleme im Hochtongbereich:
Sind die Wellenlängen viel kleiner als die Abmessungen des Raumes, wird Schall, der sich vom Lautsprecher ausbreitet, entweder geschluckt oder reflektiert. Frühe Reflexionen treffen im Anschluss an den Direktschall beim Zuhörer ein und können so den Klang verfärbten.



Probleme im Tieftongbereich:
Wenn ganzzahlige Vielfache der halben Wellenlänge genau zwischen zwei gegenüberliegenden Wänden bzw. Fußboden und Decke passen, ergeben sich Raummoden: stehende Wellen, die im Bassbereich Dröhnen verursachen können.

hungsweise 68 Kubikmeter kleiner Raum. Beteiligt sind neben Diplom-Physiker Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewitz von der Peutz Consult GmbH, der als externer raumakustischer Berater fungiert, der Messtechniker unserer Schwesterzeitschrift STEREO, Diplom-Ingenieur Rolf Hähle, und ich als Musikredakteur.

Ausgangspunkt für unser Experiment ist die Situation unmittelbar nach einem Umzug oder einer Renovierung. Der Raum – massive Wände, Parkettboden, kleines Fenster, Systemdecke – steht leer, mit Ausnahme einer hochwertigen Stereoanlage: Die riesige Malibran der italienischen Firma Unison Research, ein Standlautsprecher der High-End-Klasse (um 22.000 Euro), ist angeschlossen an Yamahas Verstärker A-S1000 und den CD-Player CD-S1000 (beide um 1.000 Euro), die zu den Besten ihrer Preisklasse zählen und hier auf einem Rack von Finite Elemente thronen. Abgerundet wird die Kette durch

Kabel von Silent Wire und eine Netzleiste von PS Audio; auch an das Bi-Wiring, das Anschließen von zwei getrennten Lautsprecherkabeln für den Tiefton- und den Mittel-Hochtong-Zweig des Lautsprechers an den Verstärker, haben wir gedacht.

Und doch ist der erste Klangeindruck desaströs: In den Höhen klingt es teils unangenehm scharf, und insbesondere der Tieftongbereich grollt einfach undefinierbar. Beim Beginn von Mahlers 5. Sinfonie (Benjamin Zander, Philharmonia Orchestra, Telarc/In-Akustik) ist der Bass entweder mulmig-verwaschen oder wummert wüst.

Vollkommen unverständlich, sind die Boxen doch technisch auf dem besten Stand, wie auch Testergebnisse bestätigen. „Bei Lautsprechertests misst man in einem bis zwei Meter Entfernung und versucht dabei, den Einfluss des Raumes bewusst auszuschalten bzw. zu minimieren“, gibt Lorenz-Kierakiewitz zu bedenken. „Dagegen erleben wir hier, was in einem akustisch ungünstigen Raum letztlich am Hörplatz ankommt. Das unangenehme Brummen entsteht zum Beispiel dadurch, dass von den

Lautsprechern die Raummoden angeregt werden.“ Zu Demonstrationszwecken legt der Akustikspezialist eine CD mit einem Testsignal ein, bei welchem eine Sinusschwingung bei gleichem Pegel von 400 bis 20 Hertz hinab allmählich tiefer gleitet, und fordert mich auf, in einer Raumecke Platz zu nehmen. Obwohl fortwährend nahezu die gleiche Energie aus dem Lautsprecher kommt, verschwindet der Ton manchmal beinahe, um dann wieder bei anderen Frequenzen übermäßig laut zu dröhnen.

Um diesem Phänomen auch messtechnisch auf den Grund zu gehen, nutzen wir das System MLSSA. Der komplexe Vorgang lässt sich vereinfacht so beschreiben: Eine Lautsprecherbox sendet Signale aus, und ein Messmikrofon misst, was am Hörplatz davon ankommt. Das System vergleicht dann das ausgesandte und empfangene Signal und misst so die Raumimpulsantworten, aus denen neben den Raummoden auch die exakte Nachhallzeit am Hörplatz über den gesamten Frequenzbereich bestimmt werden kann.

Nach den Messungen sind die Ergebnisse sogleich in einer Grafik sichtbar, und siehe da: Kein Wunder, dass unsere Ohren vibriert haben. Bei 31, 42, 51, 66-70, 78 und 90 Hertz gibt es in unserem leeren Raum ausgeprägte Eigenmoden, dazwischen richtige Löcher. Das bedeu-



Ein Akustik-Analysator gibt erste Aufschlüsse über die Raumakustik. Exaktere Messergebnisse liefert uns aber das Messsystem MLSSA.



Angeschlossen an einen Messmikrofon-Vorverstärker nimmt das Mikrophon auf, was am Hörplatz vom Signal ankommt, das durch die Lautsprecherbox ausgesandt wurde. Das System MLSSA vergleicht anschließend das ausgesandte und das empfangene Signal.

tet also: Obwohl das Signal über das Frequenzspektrum mit exakt derselben Stärke ausgesandt wurde, kommen am Hörplatz bestimmte Frequenzen wesentlich stärker an als andere. Der Unterschied etwa zwischen dem Lautstärke-Pegel bei der 51-Hz-Mode und dem Loch bei 63 Hz beträgt zirka 21 Dezibel – das entspricht in puncto Schallenergie etwa dem Faktor 100! Wer hätte gedacht, dass der Raum einen so extremen Einfluss auf die richtige Wiedergabe der Musik ausübt?

Aber nicht nur die Raummoden verursachen das mulmig-diffuse Klangbild bei der Mahler-Sinfonie. Als ein weiterer störender Faktor erweist sich die extrem lange Nachhallzeit – besonders im Bassbereich. So beträgt sie in der Mittenfrequenz des Oktavbandes bei 125 Hz volle 1,73 Sekunden. Die obere Toleranzschwelle der Nachhallzeit bei einem Raum von knapp 70 Kubikmetern

Rauminhalt ist jedoch laut Studionorm für 125 Hz zirka 0,41 Sekunden. Die angeregten Raummoden benötigen aber nun mal leider lange, um abzuklingen. Dadurch entstehen Überlagerungen und ein verschmiertes Klangbild. Dass sich vor allem die Bässe undefinierbar anhören, ist also nicht weiter erstaunlich.

Weil der unangenehme Effekt der Raummoden in den Ecken am stärksten ist – dort prallen gleich mehrere druckerhöhende Kanten aufeinander –, rücken wir die Boxen von der hinteren Wand ab. Günstiger platziert tönen sie einen Tick besser, aber immer noch sehr aufgequollen und unausgegoren. Nein, für diesen vergleichsweise kleinen Raum sind die üppigen Malibran eindeutig überdimensioniert. Vor allem den Bass bekommen wir ein-

fach ohne umfangreiche Maßnahmen nicht in den Griff.

Wir versuchen nun unser Glück mit kleineren Boxen, die einen schwächeren Bass mitbringen. Es heißt ja immer, dass sich große Lautsprecher in kleinen Räumen nicht optimal entfalten können. Klingt also ein gutes Mittelklassemodell wie die Veritas P5 (um 1.500 Euro) des

Vor allem den Bass bekommen wir ohne umfangreiche Maßnahmen nicht in den Griff

schleswig-holsteinischen Herstellers Phonar, angeschlossen an dieselbe HiFi-Anlage in unserem Raum, wirklich besser als ein Spitzenprodukt? Nach dem Umstöpseln lauschen Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewitz von der Peutz Consult GmbH, Rolf Hähle und ich wieder der Musik. Und in der Tat bestätigt sich die HiFi-Regel „Große Boxen für große, kleine Boxen für kleine Räume“. So tönt das Orchester zu Beginn von Mahlers 5. Sinfonie im Vergleich nun in den Tiefen weniger mulmig-verwaschen, grummelt der Bass in Natalie Merchants Folksong-Juwel „Sally Ann“ etwas greifbarer. Zwar sind wir von einem straff konturierten Bass noch weit entfernt. Aber dennoch scheint das Ergebnis zunächst erstaunlich, hatte doch Rolf Hähle ein paar Tage zuvor bei der Malibran einen gleichmäßigeren Frequenzgang gemessen als bei den Phonar-Boxen, die im Übrigen ja auch nur einen Bruchteil der Malibran kosten.

„Wie bereits erwähnt: Bei Frequenzgang-Messungen der Boxen wurde der



Nach den Messungen werden die Ergebnisse vom System MLSSA sogleich als Grafik sichtbar gemacht, die dann Diplom-Physiker Lorenz-Kierakiewitz (rechts) und Rolf Hähle auswerten.

Stichworte

Amplitude: Die Amplitude einer Schwingung prägt als wichtiger Parameter den Lautstärkeindruck mit. Die elastischen Schwingungen der Luftmoleküle kann man sich als Schwingungen kleiner Kügelchen vorstellen, die in Ketten mit kleinen Federn zusammengehalten werden. Die Schwingungen der Schallquelle treffen das erste Kügelchen in dieser Reihe, welches aus seiner Ruhelage ausgelenkt wird; dadurch wird das nächste Kügelchen über die Feder ebenfalls aus seiner Ruhelage gestoßen, während das erste zurückprallt, über seine Ruhelage in Gegenrichtung hinausschießt usw. Die maximale Auslenkung aus der Ruhelage wird Amplitude $x_{\max}$ genannt.

Frequenz: Die Frequenz gibt die Anzahl der Schwingungen eines Signals pro Sekunde an. Einheit der Frequenz ist das Hertz (Hz), 1.000 Hertz entsprechen 1 Kilohertz (kHz). Sie ist eine Maßeinheit, mit der man die Tonhöhe angibt. So hat das eingestrichene A, nach dem Instrumente gestimmt werden, eine Frequenz von 440 Hertz.

Frühe Reflexionen: Unter frühen Reflexionen versteht man in der Raumakustik den Anteil reflektierten Schalls, der im Anschluss an den Direktschall bei einem Hörer eintrifft. Reflektiert wird der Schall bei frühen Reflexionen oft nur von einer oder wenigen Wänden (inklusive Boden/Decke). Durch die Überlagerung mit dem Direktschall kann es zu Klangverfärbungen kommen. Mit zunehmendem zeitlichem Abstand gehen die frühen Reflexionen vom Direktschall nahtlos in den Nachhall über.

Flatterecho: Ein Flatterecho ist eine periodische Folge von Einzelreflexionen, die aufeinander folgen und dabei immer leiser werden. Es wird meist durch parallele Wände hervorgerufen. Wenn der Abstand der Flächen, zwischen denen der Schall hin- und hergeworfen wird, groß genug ist, nimmt man die aufeinander folgenden Wiederholungen als getrennte Signale wahr.

Nachhallzeit: Die Nachhallzeit ist eine der wichtigsten Kenngrößen zur Bestimmung der akustischen Qualität im Hinblick auf mögliche Nutzungen von Räumen. Sie ist definiert als diejenige Zeit, die nach dem Abschalten einer Schallquelle in einem Raum verstreicht, bis die Energiedichte eines Schallereignisses auf ein Millionstel des Anfangswertes abgefallen ist. Dies entspricht einer Abnahme des Schalldruckpegels um 60 dB.

Raumimpulsantwort: Die Raumimpulsantwort findet Anwendung bei raumakustischen Messungen, sie enthält Reflexionsmuster des Raums am gewählten Übertragungspfad Sender – Empfänger. Nachdem ein Impulssignal in den Raum gegeben wurde, gibt die Raumimpulsantwort den Schalldruck auf einer definierten Empfangsposition als Funktion der Zeit wieder.

Raummoden (Eigenfrequenzen/Raumresonanzen): Als Raummoden bezeichnet man die stationären Eigenschaften stehender Wellen und ihrer Energieverteilung im Raum. Dessen Wandpaare wirken wie Resonatoren für Wellen, bei denen ganzzahlige Vielfache der halben Wellenlänge genau in die Dimensionen hineinpassen.

Die Frequenz der ersten Mode berechnet sich folgendermaßen:
Schallgeschwindigkeit: $(\text{Raumabmessung} \times 2) = \text{Raummodenfrequenz}$
Bei einer Schallgeschwindigkeit von 343 Metern/Sekunde und einer Raumlänge von vier Metern liegt die erste Raummode beispielsweise bei etwa 43 Hertz. Bei dieser Frequenz beträgt die Wellenlänge dann acht Meter.

Die Verteilung der stehenden Wellen im Raum ist dabei von Ort zu Ort verschieden. Von tiefen Frequenzen zu höheren liegen die Moden im Frequenzbereich immer dichter. Liegen sie bei tiefen Frequenzen noch voneinander isoliert, können die Moden wahrnehmbare Klangverfärbungen („Dröhnen“) verursachen. In einem typischen quadratischen Hörraum kommen drei Arten stehender Moden vor: axiale, tangentielle und diagonale Moden (auch oblique Moden oder Schrägmoden genannt). Sehr problematisch für hochklassige Musikkwiedergabe sind quadratische Räume, denn in diesen werden in Raumlängs- und Raumquerrichtung die gleichen Moden angeregt. Die entsprechenden Frequenzen werden somit doppelt stark betont und ausgelöscht und führen zu massiven Klangverfälschungen.

Tivoli Audio®

cappellini

Internetradio
Combo Networks Cappellini
Single
+ 2. Lautsprecher

999 €

in eisblau,
lichtgrün oder
kastanienbraun



Monoradio in eisblau,
Model One lichtgrün oder
Cappellini kastanienbraun

299 €

Farben wie der Frühling, ein Sound wie im Himmel: Cappellini und Tivoli Audio bündeln ihre Kräfte. Der Mailänder Star-Designer und die Kultmarke verschmelzen Technologie und Kunst zu einem luxuriösen Audioerlebnis.

Wahre Glanzstücke, hochglanzlackiert mit silberfarbenem Grill inklusive eingepresstem Cappellini-Schriftzug. Mit dem legendären Klang, der Tivoli Audio berühmt gemacht hat. So verbindet sich klassisch guter Ton mit stylischen Farbtönen.

by

**TAD
AUDIO
VERTRIEB**

TAD-Audiovertrieb GmbH

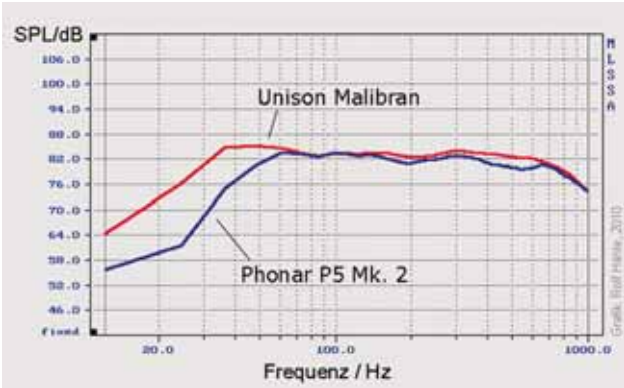
Gutendorf 14 · 93471 Arnbruck
Fon +49 9945 902707
Fax +49 9945 902717
www.radiowelten.de

Finden Sie Ihren Fachhändler
unter www.tad-audiovertrieb.de

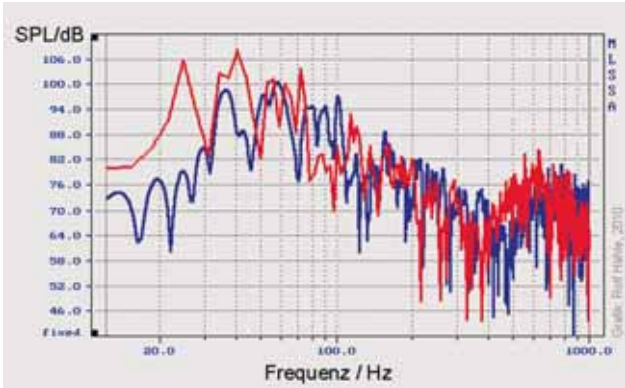
+++ Geneva + Gryphon + Olive +

+ Opera + Parrot + Piega + Rega +

+ Tivoli Audio + Unison Research +++++



Der Frequenzgang der beiden Boxen, gemessen unter reflexionsfreien Bedingungen. Die massive Unison Malibran gibt unterhalb von 60 Hz den Tiefbass deutlich stärker wieder als die schlankere Phonar-Veritas P5. Im Bereich von 60 bis 1.000 Hz entsprechen beide Boxen in etwa dem Ideal der Linearität: Die Frequenzen werden annähernd gleich stark reproduziert.



Dieselben Lautsprecher, nur messen wir dieses Mal den Einfluss des Raumes mit. Durch Anregung der Raummoden werden einige Frequenzen drastisch verstärkt, andere abgeschwächt. Dass die schlankeren Phonar-Lautsprecher unter 60 Hz weniger Energie abgeben, ist in dem akustisch ungünstigen Raum ein Vorteil: Es wummert deutlich schwächer.

Oktavbandmittenfrequenz (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Raum leer (Nachhall in Sek.)	1,73	1,3	0,92	0,69	0,73	0,66	0,57
Obere Toleranzschwelle (in Sek.)	0,41	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,36
Untere Toleranzschwelle (in Sek.)	—	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,16

Schröderfrequenz [Hz]: 201

Die Oktavbandmittenfrequenz bezeichnet die Mitte eines Oktavbandes, der Wert 125 steht zum Beispiel für die Oktave von 88 bis 177 Hz. Die Nachhallzeiten (Spalte darunter) beziehen sich auf die entsprechenden Bänder. Beim Vergleich der gemessenen Nachhallzeiten im leeren Raum mit den Toleranzschwellen (laut Studionorm) erkennt man schnell, dass unser Raum viel zu hallig ist. Die Nachhallzeiten sind bei Unisons Malibran und der Phonar-Box identisch.

Einfluss des Raumes bewusst nicht mit einbezogen – anders als bei uns jetzt“, erinnert Lorenz-Kierakiewitz. „In der Praxis wird in einem so kleinen Raum mit seinen vielen ausgeprägten Eigenmoden aus dem Nachteil der Phonar ein Vorteil. Um es anders auszudrücken: Weil der Bassbereich bei den Phonar-

Boxen insgesamt etwas schwächer wiedergegeben wird, richtet er in diesem Fall weniger Schaden an.“ Unsere anschließende Überprüfung mit dem System MLSSA unterstreicht den Höreindruck: Wenn man nicht einen Meter von den Lautsprechern entfernt misst (bei Ausblendung von Echos), sondern

an unserem Hörplatz, so ist der im Raum gemessene Frequenzgang der kleineren Phonar-Boxen im Bass tatsächlich ein wenig gleichmäßiger als bei der Malibran. Ein weiterer Beleg dafür, wie stark ein Raum den Klang beeinflusst – gerade im Bassbereich.

Trotz der leicht verbesserten Präsenz in den Tiefen kann jedoch von Wohlklang keine Rede sein. So klingen Frauenstimmen nasal und topfig, kommen die Hörner in Mahlers 5. Sinfonie diffus. Besonders schlimm ist es in den Höhen, die bei der Phonar mindestens genauso giftig beißen wie vorher bei der Malibran. Die Geige etwa in Natalie Merchants „Sally Ann“ kreischt schlicht grauenvoll, und die Trompete zu Beginn der Mahler-Sinfonie trötet so gepresst und scharf, dass es in den Ohren schmerzt. Bloß schnell die Lautstärke runterpegeln! Doch warum tönt nur der Bass (etwas) besser, nicht aber der obere Frequenzbereich?

„Das liegt am Übergang vom Gelungsbereich der wellentheoretischen zur geometrischen Akustik“, erklärt Lo-

Stichworte

Schröderfrequenz (Trennfrequenz): Oberhalb einer bestimmten Frequenz, der so genannten Schröderfrequenz, liegen die höheren Raummoden im Frequenzbereich derart dicht, dass es in der Regel nicht mehr zu störenden Effekten durch Raummoden kommt. Die Schröderfrequenz hängt ab vom Raumvolumen.

Wellenlänge: Die Länge, die eine Schwingung benötigt, um wieder dieselbe Phase zu erreichen, wird Wellenlänge genannt. Berechnet wird diese als Quotient aus Schallgeschwindigkeit und Frequenz. Somit ist bei hohen Frequenzen die Wellenlänge kürzer als bei tiefen Frequenzen.

Wellentheoretische Akustik: Die wellentheoretische Akustik gilt dann, wenn die Wellenlängen der Frequenzen vergleichbar oder länger als die Raumabmessungen sind.

Geometrische Akustik: Sind die Wellenlängen viel kleiner als die Abmessungen des Raumes oder Gegenstände darin, gilt die geometrische Akustik. Wenn sich hochfrequenter Schall etwa von Lautsprechern ausbreitet, wird er von Wänden und Gegenständen absorbiert und/oder geometrisch reflektiert.

NEU!



executive series

„...und muss zur Topklasse gezählt werden. **STEREO** nennt das Heaven's Gate“

Zitat Stereo 04/2010

mehr Produkte unter:

www.goldkabel.de

renz-Kierakiewitz. „Sind die Wellenlängen der Frequenzen deutlich länger als die Raumabmessungen, so bilden sich in kleinen Räumen stehende Eigenfrequenzen aus – eben die berüchtigten Raummoden.“ Genau das erleben wir in unserem kleinen Raum im Bass. „Für den Mittel- und Hochtonbereich dagegen gilt die geometrische Akustik. Da die Wellenlängen der Frequenzen kürzer sind als die Raumabmessungen oder Gegenstände darin, wird der Schall auf dem Weg vom Lautsprecher zum Hörplatz geometrisch reflektiert.“

Weil der Raum noch nicht möbliert ist, wird relativ wenig Schall geschluckt. Das hat den Nachteil, dass der Direkt-schall von den Boxen an unserem Hörplatz keineswegs allein eintrifft, sondern stark von Reflexionen überlagert wird. In unserem Fall kommt noch ein anderes, besonders ungünstiges Phänomen hinzu. Schallwellen werden zwischen den parallelen, nicht gedämpften und massiven Wänden gleich mehrfach hin- und hergeworfen, so dass ein Flatterecho entsteht, welches den Klang unangenehm aufräut – der Grund dafür, dass

etwa Geigen und Trompeten so scharf klingen.

Die Phonar-Lautsprecher regen die Raummoden zwar nicht so stark an wie die massiven Malibran-Boxen, so dass die Bässe weniger wüst wummern; doch in hohen Tonlagen stören nun frühe Reflexionen und Flatterechos mindestens genauso wie vorher. Auch mit anderen Lautsprechern ist das Problem also nur bedingt in den Griff zu bekommen – zumal der Raum noch immer exakt dieselbe viel zu lange Nachhallzeit aufweist, unabhängig von den Boxen. Bei der Oktavbandmittelfrequenz von 250 Hz (Oktave von 176 Hz bis 353 Hz) also beispielsweise 1,3 Sekunden statt der nach Studionorm empfohlenen zirka 0,3 Sekunden.

Die einzig vernünftige Lösung ist also, den Raum so weit zu dämpfen, dass Raummoden ebenso vermieden werden wie Flatterechos und zu lange Nachhallzeiten. Wie man das mit Hilfe von Möblierung ansatzweise verwirklicht und wie man die Raumakustik weiter optimieren kann, beschreiben wir in Teil 2 unserer Serie im nächsten Heft. ■



Zur Person

Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewitz studierte Physik, Phonetik und Musikwissenschaften und promovierte derzeit über europäische Konzertsäle. Er ist Projektleiter für Raum- und Elektroakustik der Peutz Consult GmbH, einem der renommiertesten Akustikberatungsbüros Europas. Peutz betreute etliche Raumakustik-Projekte, so die Renovierung des Concertgebouw Amsterdam und der Londoner Royal Albert Hall, die neue Tonhalle Düsseldorf, das Muziekgebouw Amsterdam und die Staatsoper Berlin. Bei Peutz werden für solche Projekte maßstabsgerechte Raumakustik-Modelle erstellt, mit deren Hilfe Varianten für Konzertsäle im Vorfeld

der Baumaßnahmen getestet und optimiert werden können. Ergänzt werden die Modellmessungen durch Computersimulationen und durch Messungen zur Schalldämmung oder Absorption von Trennbauteilen und Einbauelementen.

Internet

www.peutz.de