

Von Holger Biermann

**W**aren Sie in letzter Zeit in der Kirche? Wenn nicht, so wissen Sie doch sicher noch, wie es im großen Kirchenschiff klingt. Jedenfalls völlig anders als in Ihrem Wohnzimmer. Und da klingt es wieder völlig anders als im Badezimmer. Wir halten also fest: Unterschiedliche Räume können extrem unterschiedlich klingen. Eine besonnen ausgesuchte HiFi-Anlage kann daher beim Händler wirklich gut und bei Ihnen zu Hause schrecklich klingen – obwohl dieselben Komponenten im Spiel sind. Aber wie erklären sich die Unterschiede von Raum zu Raum? Und wie klingt der optimale Hörraum?

Zur Beantwortung dieser Fragen bietet Ihnen Teil 1 unserer Serie die theoretischen Grundlagen. Angegliedert ist ein Lexikon, in dem die wichtigsten Fachbegriffe ausführlich erklärt werden (Seite 38) sowie eine Liste mit den meistgebräuchlichen Baustoffen und Möbeln und deren akustischen Wirkungsweisen (Seite 40). Im nächsten AUDIO behandeln wir konkret die wohnraumakustischen Probleme von vier gängigen Raumtypen: dem kleinen Zimmer, der großen Altbauwohnung mit Parkett und hohen Decken, der Dachbodenkammer mit Schräge sowie dem fensterlosen Kellerraum mit niedriger Decke.

Um die einzelnen Effekte der Raumakustik richtig zu verstehen, müssen wir zuerst die hörbaren Frequenzen in zwei Bereiche unterteilen: den der tiefen sowie den der mittleren und hohen Frequenzen. Die Grenzfrequenz zwischen den beiden Bereichen hängt von der Größe der Räume ab, genauer vom Raumvolumen. In einem Auto mit einem Volumen von etwa

## Klang räume

### Wohnraumakustik, Teil 1 und 2: Grundlagen, Lexikon und Materialkunde

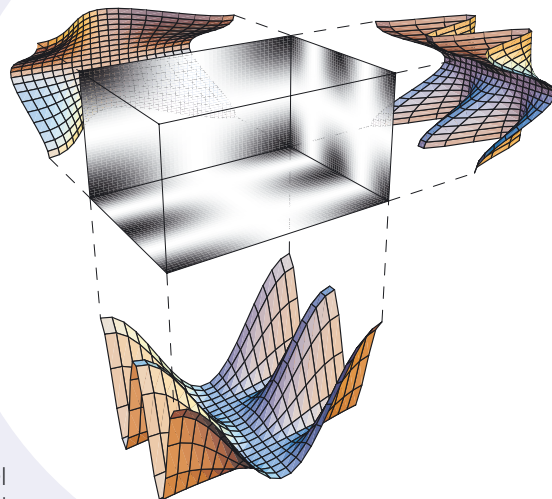
vier Kubikmetern liegt die Grenzfrequenz bei 450 Hertz, in einem Zimmer von 60 Kubikmetern Volumen liegt sie bei 180 Hertz und in einem 10000 Kubikmeter großen Konzertsaal bei 33 Hertz.

Oberhalb dieser Grenzfrequenz sind die Raumdimensionen größer als die Wellenlänge der einzelnen Frequenzen; eine Wand mit vier Metern Breite und drei Metern Höhe ist riesig im Vergleich zu der nicht einmal 3,5 Zentimeter langen Welle eines 10000 Hertz-Tones. Es gilt hier das Modell der geometrischen Akustik, bei welcher der Schall in Form von Schallteilchen von den Raumbegrenzungen oder Einrichtungsgegenständen reflektiert wird. Wie Billardkugeln von den Banden werden diese Teilchen von den Wänden abgestoßen. Da sie sich mit Schallgeschwindigkeit (344 Meter/Sekunde) ausbreiten, treffen sie in einem gewöhnlichen Wohnraum etwa 50 bis 100 mal pro Sekunde auf eine Wand. Je nachdem, wieviel Energie sie auf ihrem Weg durch den Raum verlieren (siehe auch Seite 40), wird ein Raum mehr oder weniger hallig klingen. Besonders unangenehm sind dabei die frühen Reflexionen und die sogenannten Flatterechos (siehe Seite 38), die den Klang maßgeblich verfälschen und den Raum ungemütlich machen können.

Doch wie schon gesagt: Diese Phänomene gelten nur für die mittleren und hohen Frequenzen. Unterhalb der oben erwähnten

Grenzfrequenz gilt das Modell der wellentheoretischen Akustik, doch auch hier birgt der Raum eine Reihe handfester Probleme. Einzelne Wellen können sich überlagern und dabei verstärken oder gegenseitig auslöschen. Daraus entstehen sogenannte Raumresonanzen oder Raummoden. Dies sind dreidimensionale stehende Wellen mit einer charakteristischen Eigenfrequenz und einer ungleichmäßigen räumlichen Verteilung des Pegels. Jeder Raum, gleich welcher Form, kennt diese Raumresonanzen. Beim Durchqueren eines Zimmers kann man den schwankenden Schallpegel wahrnehmen – leicht hörbar mit den Tieftönen-Sinustönen der Hörtest-CD vom Titel der AUDIO-Ausgabe 4/97. Deshalb ist jede (!) Absorption in diesem Bereich wünschenswert – sie linearisiert die Tieftonwiedergabe. Ein Baßmangel erklärt sich in der Regel aus einer unglücklichen Aufstellung. Die Animation auf dieser Seite zeigt die Lautstärkeverteilung einer der möglichen Raummoden an den Wänden und am Boden eines rechteckigen Raumes. Die dunklen Bereiche entsprechen hoher Lautstärke, an den helleren Flächen ist die Lautstärke geringer. An der falschen Stelle können

Räume haben Charakter, jeder seinen eigenen. Es gibt sanfte und schrille Ausprägungen – nicht nur optisch, auch akustisch. In einer zweiteiligen Serie beschreibt AUDIO die Raumtypen und gibt effiziente Tips zum Room-Tuning.



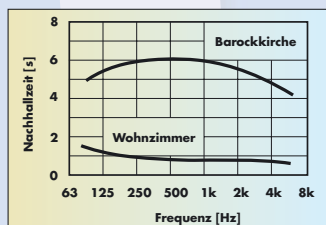
*Täler der Tränen: Die einzelnen Raummoden sind keineswegs an allen Stellen gleich kräftig vorhanden. Die Animation demonstriert ihre Pegelverteilung in einem Modellraum. Wo die Wände dunkle Schatten werfen, ist der Schallpegel sehr hoch, während er beispielsweise in der Mitte des Zimmers (helle Flecke) sehr niedrig ausfallen kann. Kein Wunder also, wenn unglücklich aufgestellte Lautsprecher extrem viel oder gar keinen Baß produzieren – sie regen die „natürlichen“ Resonanzen des Raumes sehr stark oder nur unwesentlich an. Zum besseren Verständnis zeigt der Raumakustiker Dr. Jörg Hunecke die Entstehung einer solchen Mode im Internet unter [www.fastaudio.com](http://www.fastaudio.com).*

selbst baßkräftige Boxen dünn klingen. Eine schwachbrüstige Baßwiedergabe durch übermäßige Absorption kommt dagegen eher selten vor.

Die wichtigste Größe zur Charakterisierung eines Raumes ist die Nachhallzeit. Sie ist das Maß für dessen Halligkeit und ergibt sich aus der geometrischen Form des Raumes, der Beschaffenheit seiner Wand- und Bodenflächen sowie der Einrichtung – zu berechnen mit der Sabine'schen Formel (siehe Lexikon Seite 38). Im Internet hält Raumakustiker Dr. Jörg Hunecke unter [www.fastaudio.com](http://www.fastaudio.com) einen kostenlosen Rechenservice für Sie bereit.

Ermittelt man die Nachhallzeit bei allen Frequenzen des Hörspektrums (siehe linkes Diagramm), so erhält man eine Art Frequenzgang des Raumes. Dieser „Frequenzgang“ sollte wie bei allen Audio-Komponenten möglichst linear ausfallen. Das heißt: Es sollte sich bei allen Frequenzen eine gleich lange Nachhallzeit einstellen. Die Frage ist nur: welche?

Sie erkennen es sofort an Ihrer Stimme. Klingt sie natürlich oder eigenartig hohl? Als Ideal hat sich, abhängig von der Raumgröße,



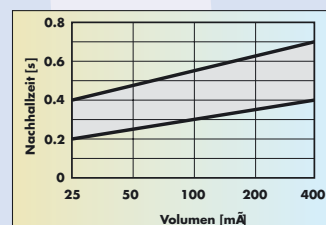
Raum und Zeit: Die Kurven zeigen die typischen Nachhallzeiten einer großen Kirche (oben) und eines Wohnzimmers (unten).

eine Nachhallzeit zwischen 0,3 und 0,5 Sekunden herausgestellt. Je größer der Raum, desto länger darf auch die Nachhallzeit sein – siehe rechtes Diagramm. Ist diese Voraussetzung gegeben, klingt die Stimme ausgewogen, lebhaft und nicht zu trocken. Ist die Nachhallzeit in den mittleren und oberen Bereichen deutlich länger, so stellt sich eine hallige Schärfe ein. Das gesamte Klangbild verliert an Transparenz und Tiefenstaffelung. Ist die Nachhallzeit dagegen zu kurz, so leidet der Raum unter

Überdämpfung – er schluckt zuviel Schallenergie, und die Wiedergabe wird stumpf. Viele schwächere Anlagen kommen in solchen Räumen schnell an ihre Grenze.

Ergibt sich bei tiefen Frequenzen eine sehr lange Nachhallzeit, so sind die Raumresonanzen nur wenig bedämpft, die Baßwiedergabe wird mulmig, und es kann zu unschönem Dröhnen kommen. Vor allem in Zimmern mit quadratischer Grundfläche liegen die Eigenfrequenzen der Raummoden sehr dicht beieinander, und ihr Pegel ist dementsprechend stark. In solchen Fällen helfen nur Absorber, um das Klangbild einigermaßen im Gleichgewicht zu halten. Welcher Absorber-Typus für welche Anwendung der richtige ist, zeigen wir im zweiten Teil unserer Serie. Eines aber schon vorab: Je tiefer die Frequenz, die abgeschwächt werden soll, desto größer muß der Absorber sein. Solche Probleme machen das Raum-Tuning häufig unattraktiv.

Dennoch: Bei wenig Einrichtung oder ohne geeignete Maßnahmen sind die tiefliegenden Raumresonanzen immer stark ausgeprägt. Mittlere Frequenzen halten sich ohne schallschlucken-



Relation: Je größer ein Raum, desto länger darf auch die Nachhallzeit sein. Der Korridor beschreibt das optimale Verhältnis.

de Einrichtung auch recht lange im Raum (Hall), während sehr hohe Töne durch die Reibung mit der Luft mehr Energie verlieren. Das Ergebnis ist eine unausgewogene Nachhallzeit: bei tiefen Frequenzen zu lang, bei mittleren Frequenzen vielleicht richtig und bei hohen Frequenzen zu kurz. Der Klang: einfach grauenhaft.

Bei Einrichtungen mit schweren Gardinen und Vorhängen, Teppichen und vielen Möbeln mit Stoffbezügen ist diese Problematik weniger ausgeprägt. Hier aber

bewegen wir uns schon wieder auf den überdämpften Plüsch-Bereich zu, in dem es ebenfalls bescheiden klingt. Das rechte Maß ist eben eine Nachhallzeit um 0,4 Sekunden bei allen Frequenzen. Erreichen wird man dieses Optimum wohl nur mit Hilfe von Akustikern. Dennoch versucht AUDIO eine Art Ferndiagnose und eine Optimierung des Bestehenden mit einfachen Mitteln: In der nächsten



Dieter Burmester, 52, altgedienter deutscher Vorzeige-High-End.

**Akustik ist ein wesentlicher Bestandteil der Raumgestaltung, aber viel zu wichtig, um sie nur auf HiFi zu beschränken. Ich kenne etliche Leute, die ein teures Klavier oder einen Flügel in einem halligen Zimmer spielen. Das kann nicht klingen. Und genauso wenig kann eine Anlage hier für ein schönes Hörerlebnis sorgen. In gut klingenden Räumen hält man sich gern auf, dort fühlt man sich wohl. Allein deshalb sind digitale Entzerrungen totaler Unfug. Sie korrigieren den Klang nur für die Anlage und zudem nur für einen Punkt im Raum. Mit einer geschickten Mischung der richtigen Absorber aber wird der ganze Raum angenehm. Natürlich dürfen diese Maßnahmen das Ambiente nicht zerstören. Hier sind die Innenarchitekten gefragt, die das Thema unverständlicherweise immer noch ausklammern. Jeder weiß, wie die Farbauswahl den Wohlfühl-Faktor eines Zimmers bestimmt. Aber die fast noch wichtigere Raumakustik wird stiefmütterlich vernachlässigt.**



Karl-Heinz Fink, 40, ist Deutschlands meistgefragter Lautsprecherentwickler.

**Der Lautsprecher ist immer nur so gut wie der Raum, in dem er steht. Beides zusammen ist eine unauflösliche Symbiose – klingt das eine nicht, wird auch das andere nur unvollkommen klingen können. Der Raumakustik kommt deshalb eine wesentliche Rolle bei der Wiedergabe zu: Bevor ich 2000 Mark in irgendwelche obskuren Kabel-Verbesserungen stecke, investiere ich das Geld lieber in ein paar sinnvoll eingesetzte Absorber. Auch wenn es nicht immer schön aussieht: Diejenigen, die ein Optimum aus ihrer Anlage herausholen wollen, kommen an entsprechenden Raumakustik-Maßnahmen nicht vorbei.**



Dr. Ing. Jörg Hunecke, 35, betreibt ein Beratungsbüro für Raumakustik in Stuttgart.

**Es ist deprimierend zu sehen, wieviel Geld zum Teil in teuerste Komponenten gesteckt wird, ohne dabei die vielleicht wichtigste Komponente zu berücksichtigen: den Raum. In den großen Konzertsälen und Opernhäusern dieser Welt weiß man genau, daß der Erfolg von einer sehr guten Raumakustik abhängt. Aber zu Hause wird dieser Tatsache so gut wie keine Aufmerksamkeit geschenkt. Dabei sind die Verbesserungen bereits mit einfachen Mitteln überwältigend. Ein paar gut abgestimmte Absorberelemente, eine sinnvolle Auswahl der Einrichtung, und man bringt viele Räume dem Ideal deutlich näher. Meine Empfehlung vor dem nächsten Gang zum HiFi-Händler: Planen Sie einen Teil Ihres Budgets für die Raumakustik ein. Das kostet nur den Bruchteil eines edlen neuen Verstärkers oder CD-Play-ers, bringt aber garantiert doppelten Spaß.**



### Absorptionsgrad

Der Absorptionsgrad gibt an, welchen Anteil der auftretenden Schallenergie eine Oberfläche schluckt. Dieser Wert wird in Prozent oder absolut angegeben. So müßte bei einem Absorptionsgrad von 80 Prozent (oder entsprechend 0,8) – gemäß der Sabine'schen Formel – die entsprechende Fläche mit 0,8 multipliziert werden.

### Flatterechos

Unter einem Flatterecho versteht man ein sich mehrfach wiederholendes, immer leiser werdendes, meist scharf klingendes Echo. In Wohnräumen treten Flatterechos nur relativ selten auf. Reflexionen sind nämlich nur dann als Echos hörbar, wenn sie stark genug sind und mindestens 50 ms nach dem Direktschall eintreffen. Diese Zeit entspricht einer Wegdifferenz von 17 Metern. Zwei parallele Wände müßten mindestens einen Abstand von 8,5 Metern zueinander haben, damit der mehrfach zwischen ihnen hin- und hergeworfene Schall als Flatterecho hörbar wird. Dennoch sind manchmal auch in kleineren Räumen Wege möglich, auf denen sich ein Schallteilchen mit geringem Energieverlust bewegen kann und dabei regelmäßig mit einer Zeitverzögerung von mindestens 50 ms am Ohr des Zuhörers vorbeikommt.

### Frühe Reflexionen

Zusätzlich zum Direktschall des Lautsprechers gelangt Schallenergie auch über Reflexionen an Wänden, Boden und Decke an das Ohr. Die ersten Reflexionen dieser Art haben einen großen Einfluß auf das entstehende Klangbild. Durch die Überlagerungen mit dem Direktschall kommt es zu Klangverfärbungen. Durch eine geeignete Aufstellung von Absorbern kann man dem vorbeugen.

### Geometrische Akustik

Sie gilt, wenn die Abmessungen des Raumes größer sind als die Wellenlängen der zu betrachtenden Frequenzen. Von der Quelle – in der Regel der Lautsprecher – breitet sich der Schall in Gestalt von Schallteilchen strahlenförmig aus und wird von den Raumbegrenzungsflächen

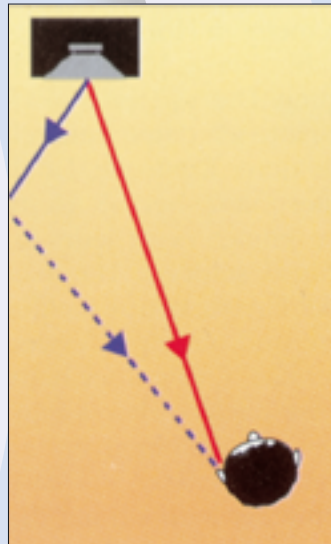
und größeren Möbeln reflektiert oder absorbiert.

### Kantenabsorber

Tiefe Frequenzen kann man am effektivsten in den Raumecken und -kanten absorbieren, da alle Raumeigenmoden dort ein Maximum der Energie haben. Poröse Absorber, in diesen Bereichen platziert, werden Kantenabsorber genannt.

### Nachhallzeit

Die Nachhallzeit ist ein Maß für die Halligkeit eines Raumes und wird bei jeder Frequenz des Hörspektrums gemessen, da Stein, Holz, Teppich oder Textilien den Schall bei verschiedenen Frequenzen unterschiedlich stark absorbieren.



*Problemfall: Zum Direktschall (rote Linie) kommen häufig frühe Reflexionen (dunkle Linie) hinzu. Unser Ohr kann beides nicht unterscheiden; das Klangbild wird unpräziser.*

Gemessen wird der Zeitraum, bis der Schallpegel der einzelnen Frequenzen um 60 dB abgefallen ist. Die Nachhallzeit zeigt die Balance zwischen Höhen, Mitten und Tiefen an. Bei tiefen Frequenzen spricht man strenggenommen nicht mehr von Nachhallzeit, sondern von Nachklingzeit, die bei der jeweiligen Raumresonanz nachschwingt.

### Plattenabsorber

Eine dünne Platte vor einem geschlossenen Luftvolumen kann bei bestimmten Frequenzen zu Schwin-

gungen angeregt werden. Ist die Platte ausreichend bedämpft, etwa durch eine Füllung des Luftraums mit Schaumstoff oder Wolle, wird dabei dem Schallfeld Energie entzogen und in Wärme umgewandelt. Bei welchen Frequenzen ein Plattenabsorber wirksam ist, hängt von den Abmessungen, dem Material und der Masse der Platte sowie der Größe des Luftvolumens ab.

### Poröse Absorber und Faserabsorber

In diese Klasse von Absorbern gehören Schaumstoffe, Mineral-, Schaf- und Baumwolle, Zellulosefasern und Textilien. Sie alle absorbieren Schall sehr effektiv, allerdings nur bis zu einer unteren Grenzfrequenz, die im wesentlichen durch die Schichtdicke des Absorbers bestimmt wird. 1 Zentimeter dicke Teppiche absorbieren erst ab etwa 1 kHz, die häufig anzutreffenden 4 Zentimeter dicken Noppenschaumstoffe erst ab etwa 250 Hz. Um auch bei 125 Hz noch eine Wirkung zu erzielen, sollten die Absorber mindestens 8 Zentimeter stark sein.

### Raumresonanzen oder Raumeigenmoden

Hinter beiden Begriffen verbirgt sich dasselbe Phänomen. In einem Raum, gleich welcher Form, wird das Luftvolumen bei tiefen Frequenzen zu bestimmten Eigenschwingungen angeregt. Diese haben im allgemeinen eine komplizierte räumliche Struktur. Die Raumresonanzen werden auch als stehende Wellen bezeichnet. Aber Vorsicht, oft wird angenommen, diese könnten nur zwischen parallelen Wänden auftreten, und es würde reichen, die Wände ein wenig gegeneinander zu neigen. Damit kann man zwar Reflexionen bei hohen Frequenzen in bestimmte Richtungen leiten, nicht aber Raumresonanzen verhindern. Diese treten bei tiefen Frequenzen trotzdem auf, nur wird es viel komplizierter, ihre räumliche Form und die Eigenfrequenzen zu berechnen.

### Sabine'sche Formel

Die Nachhallzeit  $T$  (in Sekunden) läßt sich nach folgender Formel berechnen:  $T = 0,163 V/A$ , wobei  $V$  das Raumvolumen (in Kubikmetern)

und  $A$  die gesamte Absorptionsfläche (in Quadratmetern) im Raum ist. Um diese Fläche zu bestimmen, müssen alle Oberflächen des Raumes einzeln mit ihrem Absorptionsgrad multipliziert werden, schließlich wird das Ganze addiert. Aber Vorsicht: Dieser Absorptionsgrad ist frequenzabhängig.

### Schallgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit des Schalls in Luft beträgt bei Raumtemperatur 344 Meter pro Sekunde.

### Übertragungsfunktion

Sie gibt an, wie sich ein Schallsignal auf dem Weg von der Schallquelle zum Empfänger verändert, wie es üblicherweise Frequenzgänge von anderen Audiokomponenten tun. Die Übertragungsfunktion sieht für jede Position von Schallquelle und Empfänger unterschiedlich aus. Sinnvolle Informationen erhält man aus der Übertragungsfunktion nur bei tiefen Frequenzen. Dort kann man erkennen, wie stark die Raumresonanzen bei einer bestimmten Lautsprecheraufstellung und Hörposition angeregt werden. Je mehr Tiefenabsorber im Raum vorhanden sind, desto glatter wird die Übertragungsfunktion und desto sauberer folglich auch die Baßwiedergabe.

### Wellenlänge

Die Wellenlänge gibt an, welchen Weg eine Schallwelle während einer Schwingungsperiode zurücklegt. Bei hohen Frequenzen ist die Periodendauer kürzer als bei tiefen Frequenzen, ebenso die Wellenlänge. Berechnet wird die Wellenlänge als Quotient aus Schallgeschwindigkeit und Frequenz. Schall der Frequenz von 1000 Hertz hat also eine Wellenlänge von  $344/1000 = 0,344$  Meter.

### Wellentheoretische Akustik

Sind die Wellenlängen der Frequenzen länger als die Raumabmessungen (immerhin hat ein 20-Hertz-Ton eine Wellenlänge von über 17 Metern!), so gilt das Modell der wellentheoretischen Akustik. In diesem Bereich breitet sich der Schall in Form von dreidimensionalen, stehenden Wellen aus – siehe Animation Seite 35.

# DAS ABSORPTIONSVERHALTEN VON MATERIALIEN UND MÖBELN

## **Estrich**

wirkt wie eine Betonwand. Ist er aber „schwimmend“ gelagert, kann er ähnlich wie das Parkett schwingen (Absorptionsgrad: etwa zehn Prozent bei sehr tiefen Frequenzen) und somit dem Raum Tieftöne entziehen.

## **Fliesen**

und andere Böden aus Stein werden schallhart genannt, da sie den auftreffenden Schall praktisch vollständig reflektieren (Absorptionsrate kleiner als fünf Prozent). Steinböden, die nicht glasiert sind, haben eine geringfügig höhere Absorption als glasierte.

## **Linoleum**

ist in der Regel nur wenige Millimeter dick, hat eine geschlossene Oberfläche und kann weder Tieftöne noch Mittelhochtonenergie absorbieren. Der Absorptionsgrad liegt im gesamten Frequenzbereich unter fünf Prozent.

## **Parkett**

ist im Grunde der beste Boden, da er bei tiefen Frequenzen zu Schwingungen angeregt werden kann und als Tiefenabsorber wirkt. Mit einem Absorptionsgrad von bis zu 15 Prozent ist er allerdings nicht sonderlich effizient. Im oberen Frequenzbereich dagegen absorbiert der Parkettboden sehr wenig (fünf Prozent). Die Art der Versiegelung spielt keine Rolle.

## **Teppich**

ist ein reiner Höhenabsorber. Ab 500 Hz setzt das Absorptionsvermögen ein, ab etwa 2000 Hertz erreicht es ungefähr 80 Prozent. Es spielt kaum eine Rolle, welche Art von Teppich man nimmt, nur solche aus groben Naturfasern wie Kokos oder ähnlich sind weniger effizient. Als Wandteppiche, vor allem hinter dem Hörplatz, können sie echte Fortschritte bringen.

## **Fenster**

reflektieren die mittleren und hohen Frequenzen sehr gut. Unten können die Scheiben zu Eigenschwingungen angeregt werden und so als Tiefenabsorber (Absorptionsgrad 25 Prozent) wirken.

## **Gipskarton**

wirkt als tieffrequenter Plattenabsorber. Je nach Ausführung der Wand liegt das Maximum der Absorption meist zwischen 60 und 100 Hertz – und das mit einem Absorptionsvermögen von etwa 30 Prozent. Bei hohen Frequenzen verhält sich eine Gipskartonwand wie eine massive Wand aus Stein oder Beton. Dabei spielen die Abstände der Lattenunterkonstruktion so gut wie keine Rolle.

## **Holzverkleidungen**

wirken, wenn sie nur wenige Millimeter stark sind, als effiziente Tiefenabsorber (bis zu 50 Prozent). Werden die Hölzer stärker (1 bis 2 Zentimeter dick), nimmt die Wirkung ab und ähnelt der des Parketts. Ist das Holz unbehandelt, kommt eine geringe Absorption bei mittleren und hohen Frequenzen

## **Putz**

verhält sich ähnlich wie Stein. Eine Ausnahme bilden sogenannte Akustikputze. Diese enthalten Zuschläge aus Bläton oder Vulkangestein und bilden eine offenporige Struktur. Je nach Schichtdicke absorbieren sie ab 250 bis 500 Hz etwa 50 bis 80 Prozent der anfallenden Schallenergie.

## **Tapete**

hat keine akustische Wirkung.

## **Betten**

sind aufgrund ihres Volumens sehr effiziente Tieftonabsorber. Stehen sie an der Wand oder – noch besser – in der Ecke des Hörraums, können sie stark beruhigend auf die Raummoden wirken und absorbieren sehr effizient auch höhere Frequenzen, nicht zuletzt auch durch Daunendecken und Kissen.

## **Pflanzen**

haben kaum Einfluß auf die Raumakustik. Im besten Falle verteilen sie den Schall und schlucken ein wenig Mitteltonenergie.

## **Regale**

reflektieren durch die unregelmäßige Oberflächenstruktur der verschiedenen dort platzierten Gegenstände wie Bücher, Platten et cetera den Schall diffus im Raum. Ein Regal hinter dem Hörplatz ist in der Regel deutlich besser als die nackte Wand.

## **Schränke**

absorbieren abhängig von Größe und Form Energie im Tieftonbereich, weil ihre ebenen Flächen (Seitenwände, Türen) Plattenabsorber darstellen. Ansonsten reflektieren ihre glatten Oberflächen den auftreffenden Schall der höheren Frequenzen.

## **Sitzmöbel**

aus Holz oder Metall absorbieren gar nicht, Lederbezüge nur ein wenig und Stoff relativ stark. Aufgrund des Volumens hat ein Sofa deutlich mehr Absorptionsvermögen als ein Stuhl. Auch die Position ist wichtig: Je weiter das Sofa in einer baßverstärkenden Raumecke steht, desto besser für die Baßabsorption. Die beliebte Garnitur in der Raumecke ist für die Tiefenabsorption optimal.

## **Tische**

zwischen dem Hörplatz und den Lautsprechern reflektieren Schall an ihren großen Flächen. Das ursprüngliche Signal wird verfälscht. Das Material der Tischplatte ist dabei zweitrangig, da es in der Regel eine glatte Oberfläche hat.

## **Literaturhinweise**

Fasold, W.; Sonntag, E.; Winkler, H.: Bau- und Raumakustik. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1987  
Meyer, J.: Akustik und musikalische Aufführungspraxis. Verlag Erwin Bochinsky, Frankfurt am Main 1995  
Cremer, L.; Müller, H. A.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Band I und II. S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1978



*Materialkunde: Was schön aussieht, muß nicht zwangsweise gut klingen. Gerade in modern eingerichteten Wohnungen kommt es auf die Mischung im Raum an: Teppich, Fliesenböden, Gardinen, Glasflächen...*

hinzu. Ist es mit Lack versiegelt, ist diese Absorption vernachlässigbar.

**Kalksand-, Ziegelstein und Beton** sind schallharte Oberflächen, die den Schall weitgehend reflektieren. Im gesamten Frequenzbereich wird weniger als fünf Prozent der Energie absorbiert. Allerdings gibt es einige spezielle „haufwerksporige“ Steine, die recht gute Absorber sind. Sie dürfen dann selbstverständlich nicht verputzt werden, sonst verlieren sie ihre Wirkung.

## **Gardinen**

absorbieren unterschiedlich – je nach Abstand von der dahinterliegenden Wand und abhängig davon, wie dicht der Stoff gewebt wurde. Je größer der Abstand zur Wand ist, desto tiefer die absorbierten Frequenzen. Bei 20 Zentimetern Wandabstand liegt die untere Grenzfrequenz des absorbierten Schalls bei etwa 125 Hertz. Bei sehr dünnem Stoff ist die Wirkung gering. Schwere, faltige Vorhänge absorbieren besser, etwa 80 Prozent.



# Aus der Praxis

## Wohnraumakustik:

### Absorber, Einrichtung und Lautsprecher-Aufstellung

Teil 1 schuf die Grundlagen. Der zweite Teil von AUDIOs Serie zur Raumakustik geht in die Praxis und trimmt vier gängige Zimmertypen auf echtes Hörraum-Niveau. Die gezeigten Lösungen werden auch bei Ihnen den HiFi-Klang stark verbessern.

Von Holger Biermann

Die Quintessenz war bitter. AUDIOs Grundlagen-Geschichte zum Thema Wohnraumakustik (siehe Heft 6/98) zeigte eindeutig, daß jeder Raum heftige, ganz eigene Akustikprobleme aufwirft – abhängig von seiner Größe, den Baumaterialien und der Einrichtung. Wummernde Raumresonanzen verderben den Klang ebenso wie hallige Echos. Kurzum: Es gibt eine Menge Probleme, aber kein allgemein gültiges Rezept für ihre Lösung.

Wir haben daher vier typische Räume analysiert und optimiert: den großen Altbau mit hohen Decken und Parkettboden, den niedrigen Kellerraum mit kleinen Fenstern und Teppichboden, den Dachgeschoß-Ausbau mit schrägen Decken und Teppichboden (alle Seite 146) sowie ein „normales“ kleines Zimmer (siehe Seite 143/44). Die Vorgehensweise war dabei stets die gleiche. Mit Hilfe eines Akustikers wurden die einzelnen Räume penibel im Ist-Zustand auf ihre Nachhallzeit hin überprüft. Ziel war es in allen Fällen, eine Nachhallzeit zwischen 0,3 und 0,6 Sekunden (abhängig von der Größe) zu erreichen. Liegen die Nachhallzeiten eines Zimmers über den gesamten Frequenzbereich in diesem Rahmen, klingt der Raum so, wie wir es von ihm erwarten: lebendig und natürlich. Auf der anderen Seite aber wollten wir nicht sklavisch an diesen Vorgaben festhalten: Der ursprüngliche Charakter des Zimmers sollte erhalten bleiben und nicht durch massiven Absorber-Einsatz zerstört werden.

Dem kleinen Zimmer haben wir uns am ausführlichsten gewidmet. Zum einen lassen sich an ihm eini-

ge Probleme exemplarisch lösen. Zum anderen richten sich viele Musikliebhaber zusätzlich zum Wohnzimmer einen meist kleineren Extraraum ein – bei diesem Beispiel dürften sich daher die meisten Hörraumbesitzer wiederfinden. Die Situation in unserem kleinen Zimmer war folgende: Aus den Wandlängen von 3,25 Meter und 3,90 Meter ergab sich eine Grundfläche von knapp 12,5 Quadratmetern und zusammen mit der Deckenhöhe von 2,75 Meter ein Volumen von 35 Kubikmetern. Außer einem Velour-Teppichboden, einem Sofa und der Anlage war keine Möblierung vorhanden.

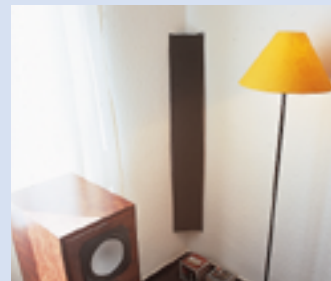
Wie wir schon im ersten Teil dieses Reports dargelegt haben, ist es sinnvoll, die Nachhallzeiten in zwei Bereiche aufzutrennen: den der tiefen und den der mittleren und hohen Frequenzen. Das untere Diagramm von Seite 144 zeigt das Verhalten bei tiefen Frequenzen. Wegen ihres langen Nachschwingens liegt ihr Pegel beispielsweise bei 35 Hertz mehr als zehn Dezibel über

dem Normalniveau – das dröhnt mächtig. Im höheren Bereich (oberes Diagramm) irritiert die lange Nachhallzeit zwischen 200 und 2500 Hertz; vor allem das sehr lange Nachschwingen bei 400 Hertz ließ die Wiedergabe sehr hallig erscheinen. Keine Frage: Hier mußten Absorber her. Aber welche?

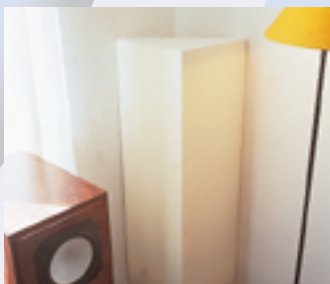
Schon im Dezemberheft '96 machten wir höchst erfreuliche Erfahrungen mit einem Kantenabsorber namens „Più“. Die dreieckige Säule aus Akustikschaum war damals aber unverständlich teuer. Heute kostet sie bei Fast Audio, Telefon 0711/4808888, nur noch 280 Mark: Billiger geht's kaum. Und gefahrloser auch nicht. Jeder, der von der Wirkung nicht angetan ist, kann die Absorber zurückgeben. Aber nur die wenigsten werden es tun – versprochen. Der „Più“ ist so wirksam, daß er zum zentralen Bestandteil unserer Raum-Optimierungen wurde. Aufgestellt wird er sinnvollerweise in der Ecke. Da die Tieftönenenergie hier besonders stark ist, ist auch das Schluckver-

mögen am größten; das gilt für alle Absorber. Wirksam ist der „Più“ vor allem im Bereich zwischen 40 und 300 Hertz. Um die Energie höherer Frequenzen im Raum zu erhalten, sind seine Außenflächen mit einer dünnen Beschichtung überzogen. Die schräge Innenseite ist offenporig, sie sollte daher zur Ecke zeigen. Das entstehende „Loch“ zwischen Absorber und Wand muß nicht gefüllt sein; die Energie ist etwa zehn Zentimeter vor den Wänden am stärksten.

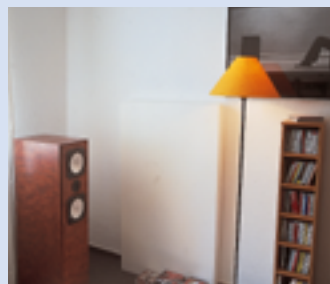
Ebenfalls ein alter Bekannter aus dem Dezemberheft ist der Flächenabsorber „Parete“. Er absorbiert mehr die mittleren Frequenzen zwischen 100 und 3000 Hertz. Aufgrund seiner Form dürfte sein Platz meist an der Seitenwand sein. Deshalb ist seine Wirksamkeit etwas geringer als die des „Più“. Der „Parete“ kostet bei Fast Audio 195 Mark.



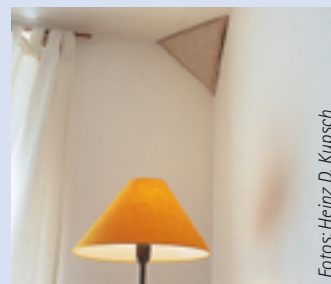
*Schmalhans: Die „Tuning Strips“ von Room Tune gehören ebenfalls in die Ecke und absorbieren hier Energie im oberen Baß- und im Mittenbereich. Vier „Tuning Strips“ kosten 600 Mark und sind entweder in schwarz oder beige zu haben.*



*Eckensteher: Der Kantenabsorber „Più“ (280 Mark pro Stück) entwickelt den größten Absorptionseffekt, wenn seine schräge Seite zur Ecke zeigt. Die „Piùs“ sind knapp über einen Meter hoch und nur in weiß erhältlich.*



*Plattenbau: Der „Parete“ (195 Mark pro Stück) absorbiert vor allem Frequenzen im oberen Baß- und im Mittenbereich. Er muß daher nicht unbedingt in Eckennähe stehen. Auch den „Parete“ gibt es lediglich in weißer Ausführung.*



*Dreiecks-Verhältnis: Die „Corner Tunes“ vom amerikanischen Hersteller Room Tune helfen in erster Linie gegen Flatterechos. Vier Stück dieser kleinen Stoffkissen kosten 366 Mark. Zu haben in den Farben beige und schwarz.*

Fotos: Heinz D. Kupsch

Viel kleiner sind die Absorber von Room-Tuner Michael Green (Vertrieb: Audio Physic, 59929 Brilon). Seine „Tuning Strips“ und „Corner Tunes“ (siehe Fotos rechts) bestehen aus Mineralwolle mit einem Stoffüberzug. Auch die „Tuning Strips“ sollen Energie im Tief- und Grundtonbereich absorbieren – sie gehören daher ebenfalls in die Ecke. Die amerikanischen Room-Tune-Elemente haben eine absorbierende und eine reflektierende Seite, wobei die letztere nach vorn zu drehen ist, um den Raumklang „frischer“ zu gestalten. Im Vergleich zu den „Piüs“ sind die länglichen „Tuning Strips“ sicher die elegan-

tere Lösung, aber keineswegs die effektivere. Um nur ungefähr die Absorption von einem Paar „Piüs“ zu erreichen, mußten wir in unserem Modellraum acht „Tuning Strips“ aufhängen; das geht gehörig ins Geld. Auch der Einsatz der kleinen, von uns anfangs belächelten „Corner Tunes“ war durchaus zu hören. Die Flatterechos zwischen den Ecken bekamen wir mit diesen Dreiecken recht gut in den Griff. Eines muß an dieser Stelle dennoch ausdrücklich gesagt werden: In kleinen „unbehandelten“ Räumen bringen schon homöopathische Dosen von gezielt eingesetzten Absorbern einiges. Allerdings kann dies nur ein

Tropfen auf den heißen Stein sein. Die Absorption von tieferen Frequenzen macht ein entsprechendes Volumen vonnöten – oder sie funktioniert nur sehr schmalbandig.

Der Helmholtz-Resonator (siehe Seite 145) ist so ein Fall. Dieses Prinzip entspricht einer Baßreflexbox ohne Tieftöner, die – bei sorgfältiger Konstruktion – einen schmalen Frequenzbereich stark absorbieren kann. Zur Erinnerung: Der „Piü“ oder die „Tuning Strips“ arbeiten breitbandig und linearisieren so den gesamten, oberen Baß-Frequenzgang; ein Helmholtz-Resonator ist nur imstande, einzelne Spitzen zu kappen.

Für unseren kleinen Modellraum erarbeiteten wir aus diesen Absorbern folgende Lösung: In den Ecken hinter den Boxen stellten wir je zwei „Piüs“ übereinander. Das verbleibende Stück bis zur Decke füllten wir mit einem zerschnittenen Element (der Akustikschaum schneidet sich sehr leicht), sodaß die weißen „Piüs“ vor der weißen Wand kaum auffielen. Nicht unwichtig dabei ist die Symmetrie. Die Aufstellung in nur einer Ecke reduziert zwar auch die Tieftoneenergie im Raum, ist aber vom Ohr wahrnehmbar; das Klangbild hängt schief. Auch zwei „Parete“ kamen zum Einsatz. Für sie bot sich in dem kleinen Zimmer keine feste Installation an; sie werden immer nur zum intensiven Musikhören links und rechts der Lautsprecher aufgestellt, wo sie teils reflektieren, teils absorbieren und dadurch die Ortung der Lautsprecher verbessern. Nach dem Hören verschwinden sie wieder hinter dem Schrank. Zusätzlich empfahlen wir dem Besitzer eine feste Gardine vor dem Fenster. Das lockerte den Raum nicht nur optisch auf, sondern reduzierte auch die etwas zu hohen Nachhallzeiten bis 2500 Hertz.

Die roten Linien in den Diagrammen zeigen den Erfolg: Oberhalb von 125 Hertz liegt die Nachhallzeit nun bei den angepeilten 0,3 Sekunden. Das ist für einen Raum dieser Größe der optimale Wert; größere Räume brauchen einen etwas stärkeren Hallanteil. Unterhalb der 125-Hertz-Marke aber ist die Nachhallzeit zum Teil immer noch recht hoch. Es zeigt sich, daß die „Piüs“ den Bereich zwischen 100 und 200

Hertz zwar sehr schön linearisieren, aber bei der tiefen Resonanz von 35 Hertz nicht mehr wirksam sind. Hier wären Helmholtz-Resonatoren die adäquate Lösung, doch der Besitzer des Zimmers winkte ab. Ein oder gar zwei 50 Liter-Kisten wollte er nicht noch zusätzlich unterbringen. Er verzichtete auf die Sauberkeit in den unteren Lagen und wählte einen Lautsprecher mit nur geringem Tiefstbaßvermögen, in diesem Fall die Cabasse „Brigg“. Apropos Lautsprecher: Schwachbrüstige Miniboxen, die im Baß von der Unterstützung durch Raumresonanzen leben, können durch die Absorber in Schwierigkeiten kommen. Das Klangbild wirkt dann schnell matt und verliert an Druck. Wer sich unsicher ist, sollte es ausprobieren – glücklicherweise ist dies mit den „Piüs“ und den „Paretes“ durchaus machbar.

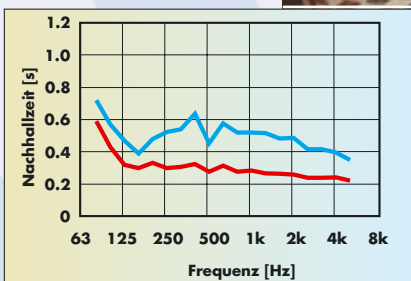
Die Nachhallzeiten unseres kleinen Modellraumes waren also fast perfekt, aber es gab noch viel zu tun. Da die Pegelverhältnisse im Raum sehr unterschiedlich sind, kommt der Position von Lautsprechern und Hörplatz eine elementare Rolle zu. Man kann es hören: Lassen Sie einen Baß-Sinuston (wie von der AUDIO-CD 4/97, siehe Foto nächste Seite) laufen und durchqueren Sie dabei das Zimmer – die Pegeldifferenzen sind kraß. Stellen Sie die Lautsprecher und Ihren Ohrensessel dort auf, wo mittlere Pegelverhältnisse herrschen.

Oder man kann es simulieren: Der Lautsprecher-Profi Elac (Vertrieb: John & Partner, 24113 Kiel) bietet eine umfassende PC-Software für gerade mal 30 Mark an. Diese errechnet die optimalen Positionen für Box und Hörplatz. Das Sofa des Raumbesitzers stand ursprünglich (wie so oft) an der Rückwand. Die Reflexionen der Wand und der hier herrschende hohe Pegel im Baßbereich zwangen uns zu einer anderen Aufstellung. Die Elac-Software und unsere Hörversuche wiesen auf einen Platz mit mehr als einem Meter Abstand zur Rückwand hin. Um die entstandene Lücke sinnvoll zu nutzen, kam ein offenes Regalsystem hinter das Sofa – gleichzeitig der ideale Aufbewahrungsort für CDs und Schallplatten. Zusätzlicher Vorteil: Dank der unregelmäßigen Oberfläche des gefüllten Regals



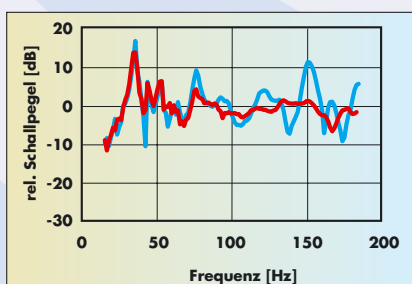
Vorderansicht: Mit je zwei „Piüs“ in den Ecken plus zwei „Parete“ neben den Boxen (nicht im Bild) konnte der Nachhall oberhalb 100 Hertz in unserem Modellraum auf optimale 0,3 Sekunden gesenkt werden.

Rückansicht: Der Hörplatz, in diesem Fall das Sofa, muß einen Meter von der Rückwand weg, wo ein Regalsystem den Schall diffuszerstreut.



Langzeitwirkung: Die Nachhallzeit unseres Modellraumes lag anfangs (blaue Linie) zwischen 150 und 2500 Hertz deutlich zu hoch. Die rote Linie zeigt den Einfluß der Absorber.

Laut und heftig: Das Diagramm zeigt den Schalldruckverlauf des Modellraumes unterhalb 200 Hertz. Die blaue Kurve ist der Zustand ohne Absorber, die rote Linie zeigt den positiven Einfluß der Akustikelemente.

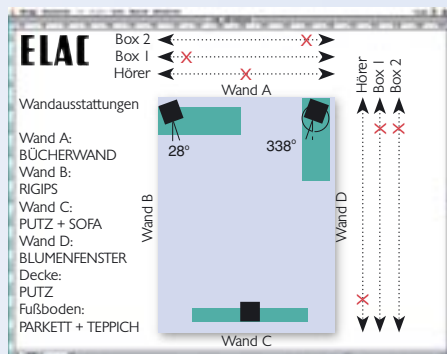




werden die Schallteilchen diffus im Raum verteilt.

Auch die Lautsprecher standen anfangs direkt an der gegenüberliegenden Wand. Sie wanderten im Laufe unserer Versuche mehr und mehr an die Seitenwände (siehe auch Aufstellungsvorschlag Bernd Theiß, Seite 145), bis wir schließlich fast im Nahfeld bei einer extremen Anwinkelung angekommen waren. Aber dann klang es wirklich umwerfend. Der Besitzer unseres kleinen Zimmers jedenfalls war überglücklich. Sein Kommentar: „Von der Bahnhofshalle zum angenehmen Musikzimmer – hier läßt’s sich hören.“

Wir waren ebenfalls sehr zufrieden – immerhin hatte das Ganze nur unwesentlich mehr als 1800 Mark gekostet. Die Arbeit eines professionellen Akustikers vor Ort würde freilich noch einmal mit ungefähr 1000 Mark zu Buche schlagen. Wer aber ernsthaft die Optimierung seines Hörraumes angehen möchte, dem seien solche



Messungen dringend ans Herz gelegt. Beste Erfahrungen hat AUDIO diesbezüglich mit dem Akustikern von W-vier gesammelt, die nach Absprache (Telefon: 05261/7442) bei Ihnen vorbeikommen. Oder Sie machen es selbst.

Doch auch ohne Messungen kann man schon einiges tun: Vergleichen Sie Ihre Hörsituation mit den hier vorgestellten. Das Materialkunde-Lexikon aus AUDIO 6/98 hilft Ihnen beim groben Errechnen der Nachhallzeiten. Ermitteln Sie mit AUDIOs Hörtest-CD oder den PC-Simulationsprogrammen Ihre

Raumresonanzen und die optimale Anordnung für die Lautsprecher und den Hörplatz. Im Tieftonbereich bringen Absorber immer einen Fortschritt; in kleinen Räumen spürt man schon wenige recht stark. In diesem Zusammenhang waren wir vom Universal talent der „Piüs“ so angetan, daß mittlerweile kaum noch ein AUDIO-Kollege zu Hause „ohne“ hört. Auch die dezenten „Room-Tune“-Elemente machen die Räume angenehmer, sind aber im Baßbereich nicht sehr effizient. Und damit sind wir auch bei der Crux der Raumakustik: Große

*Computer-Hilfe: Die gute Software von Elac (Preis: etwa 30 Mark) klärt schnell die beste Anordnung von Lautsprecher und Hörplatz. Dabei lassen sich nicht nur Raumresonanzen, sondern auch die klangfarbenentscheidenden Reflexionen simulieren. Ab Herbst will Elac eine Windows 95-Version für alle Lautsprecher-Typen anbieten.*



*Baß-Power: Mit den Sinus-Frequenzen der AUDIO-Test-CD vom April '97 lassen sich Raumresonanzen ganz schnell ausmachen.*



Alfred Rudolph, 54, ist Chefentwickler bei der High-End-Schmiede A Capella.

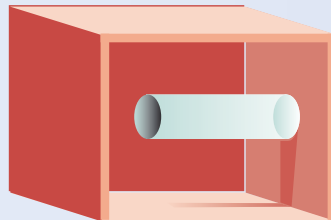
**Die Lautsprecher (LS) so im Raum aufstellen, daß der Hörplatz auf einer senkrechten Linie genau mittig vor den LS steht. Die Boxen sollten möglichst frei und in großem Abstand (2,5 bis 5 Meter) voneinander stehen. Die LS dann soweit nach innen drehen, daß der Schnittpunkt der Schallachsen mit dem Abstand der LS zueinander ein gleichschenkliges Dreieck bildet. Mit einem Monosignal den optimalen Hörplatz ermitteln; er liegt in der Regel etwas hinter dem Schnittpunkt. Das Signal muß exakt aus der Mitte der LS kommen. Von diesen Positionen aus können Sie den Feinschliff angehen (stärkere Anwinkelung der LS, zentimeterweises Vor- und Zurückziehen von LS und Hörplatz). Wichtig dabei: Markieren Sie zur Vereinfachung jede Veränderung mit Klebestreifen. Ist die Aufstellung optimal (und die HiFi-Anlage auch), bietet das Klangbild am Ende eine fast holografische Abbildung.**



Bernd Theiß, 34, ist der technische Kopf von Audio Physic.

**Der Ort einer Tonquelle wird in den ersten fünf Millisekunden des Hörens vom Ohr analysiert. In dieser Zeit legt der Schall 1,7 Meter zurück. Um keine Sekundärschallquellen ins Spiel zu bringen, sollten die Lautsprecher (LS) wenigstens 85 Zentimeter (Hin- und Rückweg) von größeren Flächen oder Gegenständen entfernt sein. Da der Hörraum den Klang mehr beeinträchtigt als gemeinhin angenommen, ist es sinnvoll – wenn möglich – ihn weitgehend auszuklammern. Bei der Nahfeldaufstellung (Entfernungen bis zu zwei Metern) überwiegt der unbeeinflusste Direktschall. Die Schallachsen der LS dabei vor dem Hörplatz kreuzen lassen (bei LS mit gutem Rundumstrahlverhalten problemlos möglich) und den Abstand der LS zu den Seitenwänden kleiner als zur Rückwand wählen. Stehen die LS etwa an der Mitte der Seitenwände, werden auch die Raumresonanzen weniger angeregt als in der Ecke.**

## DER HELMHOLTZ-ABSORBER

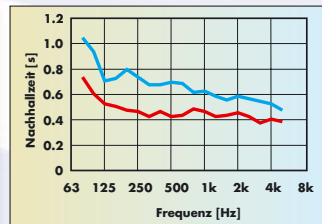


*Kasten-Denken: Für einen wirkungsvollen Resonator reicht in der Regel ein Volumen von 50 bis 60 Litern. Die Maße sind dabei beliebig. Der Kasten muß absolut stabil sein, die Länge der Reflexröhre (rot) ist variabel.*

Stimmt man einen Hohlraum mittels einer Öffnung auf eine Frequenz ab, so erhält man einen Helmholtz-Resonator. Boxenentwickler bedienen sich seiner baßunterstützenden Vorzüge bei den weitverbreiteten Baßreflexboxen. Helmholtz-Resonatoren können aber auch eine effiziente Art der Tieftonabsorption sein; auf eine Frequenz abgestimmt, wirken sie gegenphasig und verschlucken so einen Teil der Energie. Ein Helmholtz-Resonator arbeitet schmalbandig, zum Beispiel im Bereich von 40 bis 45 Hertz, dort aber wirksam. Leider gibt es solche Resonatoren nicht zu kaufen: Sie müssen absolut exakt berechnet sein, sonst verfehlen sie ihr Ziel. Wer zu Hause eine Pegelüberhöhung bei 40 Hertz hat, kämpft oft auch gegen einen Einbruch bei 50 oder 60 Hertz. Ist der Resonator falsch konstruiert

und absorbiert hier Energie, ist der Baß unsauber und trotzdem kaum vorhanden – ein riesiges HiFi-Manko. Deshalb bietet Ihnen AUDIO in Zusammenarbeit mit dem promovierten Physiker und Isophon-Entwickler Roland Gauder einen tollen Berechnungs-Service an: Wenn Sie uns die Abmessungen Ihres Hörraumes, die Baumaterialien (Stein- oder Holzwand) und eventuell die beiden tiefsten Raummoden (mit der AUDIO-Hörtest-CD leicht zu ermitteln) mitteilen, berechnen wir anhand dieser Daten einen Resonator für Sie. Unsere Adresse: AUDIO, Leuschnerstraße 1, 70174 Stuttgart, Stichwort: „Helmholtz“. Legen Sie bitte einen frankierten und adressierten Rückumschlag bei. Einsendungen nach dem 1. August können leider nicht mehr berücksichtigt werden.

## Problemfall: Altbauwohnung



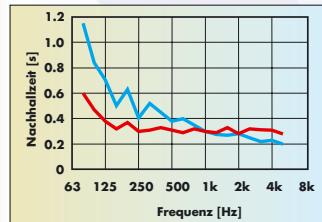
**Raum 2:** Kaum Möbel, wenig Teppich und die Größe lassen die Nachhallzeiten (blaue Linie) bis weit über eine Sekunde steigen. Mit den Akustik-Elementen (rote Linie) klingt's erheblich besser.

Fußboden des Raumes besteht aus Parkett mit einem Designer-Teppich (5 qm). Die Fenster sind groß und hoch. Außer der Anlage und einer Sitzgruppe ist das Zimmer nicht möbliert. Die Nachhallzeit ist bei allen Frequenzen recht hoch – es gibt ja kaum Absorbierendes. Da der Besitzer den hellen, weiträumigen Charakter des Zimmers nicht zerstören wollte, kam nur ein

Die Situation: Das Zimmer einer Altbauwohnung. Die Grundfläche beträgt knappe 30 Quadratmeter, die Deckenhöhe liegt bei 3,10 Metern. Der

Kompromiß in Frage: Je 2,5 „Piüs“ stapelten wir unauffällig in die Ecken hinter den Lautsprechern und reduzierten so die Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen. Ein dicker Vorhang vor den Fenstern erbrachte in den oberen Bereichen ebenfalls fast optimale Werte (rote Linie); die Symmetrie zur gegenüberliegenden Wand schufen wir mit vier weißen „Tuning Strips“ quer unter der Decke. Gegen die tiefe Raummode bei 28 Hertz hätten nur sehr große Absorber geholfen; die wollte der Besitzer nicht. Ansonsten aber klang der Raum ausgezeichnet. Preis der Optimierung: etwa 2500 Mark. Unser Boxen-Tip: möglichst „laute“ Standboxen mit extrem sauberem Tiefbaß.

## Problemfall: Kellerraum



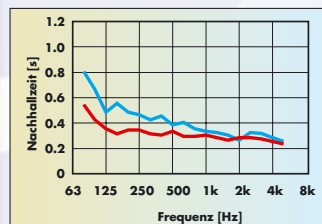
**Raum 3:** im Tiefbaßbereich sehr lange Nachhallzeiten (blaue Kurve), die zu den oberen Frequenzen drastisch abfallen. Absorber und Reflektoren bringen's ins Lot (rote Kurve).

bestückt sind. Die Einrichtung besteht aus einer Polstergarnitur, einem Schrank und der Anlage. Bei diesem Beispiel war die Ausgangslage am schlechtesten. Durch die geringe Deckenhöhe wirkte der Velour-Teppichboden extrem effizient (die Nachhallzeit für Frequenzen oberhalb 5000 Hertz lag bei 0,2 Sekunden), im Tieftönenbereich

Die Situation: Ein Kellerraum mit 18 Quadratmetern Grundfläche. Die Decke ist nur 2,20 Meter hoch. Das Zimmer hat Fenster, die mit Vorhängen

dagegen hielten sich die Moden bis über zwei Sekunden. Da half nur ein massiver Einsatz: zwei Helmholtz-Resonatoren, abgestimmt auf die Mode bei 38 Hertz, dazu vier „Piüs“ plus zwei „Parete“. Damit drückten wir den Baß auf erfreuliche 0,6 Sekunden Nachhallzeit. Da der Besitzer den Teppich und die Vorhänge behalten wollte, kam für die oberen Bereiche nur eine eigenwillige Lösung in Betracht: Beim Hören legt er jetzt vier dünne Holzplatten (mit je einem Quadratmeter Fläche) auf den Teppich und erhält sich so die Mittelhochtonenergie. Kosten der Optimierung: etwa 1800 Mark. Unser Boxentip: hell abgestimmte Standlautsprecher.

## Problemfall: Dachgeschoßzimmer



**Raum 4:** Die Voraussetzungen sind gut. Dank der absorbierenden Gipsplatten ist auch die Nachhallzeit im Baßbereich recht niedrig (blaue Kurve), mit den Akustikmaßnahmen aber perfekt (rote Linie).

Gipskarton. Im Zimmer liegt ein Velour-Teppich; der Raum ist mit einer kompletten Wohnzimmer-Einrichtung ausgestattet. Hier waren die Voraussetzungen recht gut. Dank der Einrichtung war die Nachhallzeit ab 300 Hertz ohne Hilfe schon optimal. Zwei „Piüs“ korrigierten den oberen Baß noch einmal merklich, zwei große Helmholtz-Resonatoren, links und

Die Situation: Ein Dachgeschoßzimmer von etwa 25 Quadratmetern Grundfläche. Die Schrägen sind auf beiden Seiten, die Wände aus

rechts im Knie der Schräge fast unsichtbar untergebracht und auf die beiden unteren Raummoden abgestimmt, sorgten auch in diesem Bereich für eine sehr saubere Wiedergabe. Die Lautsprecher stellten wir vor eine der beiden senkrechten Wände. Hier klangen sie am besten. Wegen der Schrägen geriet ihre Tiefen- und Breitenstaffelung diffus, aber dieses Manko machten wir mit einem Paar „Parete“ wett: Links und rechts von den Boxen aufgestellt, wurden sie zur senkrechten Wand und damit zum Garanten für ein plastisches Klangbild. In diesem Raum spielte jede Box hundertprozentig. Kosten der Optimierung: etwa 1500 Mark.