



In der Vereinszeitschrift des Verbands Deutscher Tonmeister: "Tonmeister-Informationen - VDT Magazin",  
Heft 2 / 2009, Seite 35 bis 41 erschien folgender Artikel:

**Peter K. Burkowitz und Helmut V. Fuchs**

## **Das vernachlässigte Bass-Fundament**

**Zur Behandlung der tiefen Frequenzen beim Darbieten,  
Aufnahmen und Wiedergeben von Sprache und Musik**

# Das vernachlässigte Bass-Fundament

Zur Behandlung der tiefen Frequenzen beim Darbieten, Aufnehmen und Wiedergeben von Sprache und Musik

Peter K. Burkowitz, Helmut V. Fuchs

Hat sich der Leser dieser Fachzeitschrift nicht manchmal schon gefragt, warum sich auf höchstem künstlerischen Niveau und mit modernster Technik produzierte Musik-Aufnahmen im Klangergebnis so fundamental unterscheiden können? Auch wenn man einmal den individuellen Darbietungsstil von namhaften Ensembles und Dirigenten und auch die Vorlieben und Verkaufsabsichten von Produzenten, Agenturen und Sponsoren, die sich leider nicht selten auch gegen besseres Wissen der Musiker und Tonmeister durchsetzen, berücksichtigt, sind doch oft gravierende, aber eigentlich unnötige Qualitätsunterschiede festzustellen.

Man sollte sich deshalb einfach einmal nur den Spektralbereich unter 125 Hz ganz aufmerksam separat hörbar machen: Werden hier die Konturen der tiefen Stimmen ebenso unverfälscht und deutlich wiedergegeben wie die Konturen der höheren Lagen und Formanten? Oder wird nur ein konturloses Wabern, Wummern und Dröhnen wahrgenommen, das kaum die daran beteiligten Stimmen richtig zu erkennen und zu verfolgen gestattet? Das kann natürlich an unzureichender Aufnahme- und/oder Wiedergabetechnik liegen. Mindestens ebenso häufig liegt die Ursache für den Tiefen-Mulm aber in der Aufnahmeumgebung im weitesten Sinne! Selbst wenn man - unter anderem durch eine Vielzahl von Mikrofonpositionen - einen starken negativen Raumeinfluss zumindest für die hohen Frequenzanteile eliminieren konnte, bleibt der „Klang-Sumpf“ bei den tiefen allzu oft unverbessert. Dieser Beitrag möchte auf dieses lange bekannte, aber noch sträflich vernachlässigte Problem gezielt aufmerksam machen und einen praktikablen Weg zu seiner Lösung aufzeigen, der sich gleich in mehrfacher Hinsicht bezahlt macht.

## Zur Vorgeschichte

Nach herkömmlichen Vorstellungen liegt der wichtigste Frequenzbereich von Sprache und Musik etwa zwischen 125 und 4000 Hz. Bei ihrer Darbietung in mittleren und größeren Räumen werden noch höhere Frequenzanteile meistens schon durch die natürliche Absorption bei der Schallausbreitung in Luft gedämpft, ohne dass man dadurch eine wesentliche Einbuße an Klangqualität feststellt. Trotzdem haben Hersteller und Anwender elektro-akustischer Wandler, Übertragungseinrichtungen und Speicher in den vergangenen 50 Jahren große Anstrengungen unternommen und viel erreicht, um auch die 6- und 7-gestrichenen Oktaven noch unverfälscht aufzeichnen, übertragen und zu Gehör bringen zu können, auch wenn die Ohren nur sehr weniger Menschen diese Erweiterung zu den höchsten Tönen überhaupt wahrzunehmen und zu würdigen im Stande sind. Bei der Behandlung der Raumakustik kleiner bis mittelgroßer Räume zum Beispiel nach DIN 18041 spielt dagegen - aus guten Gründen - der Frequenzbereich oberhalb 8000 Hz praktisch überhaupt keine, über 4000 Hz nur eine untergeordnete Rolle. Für Sprachnutzungen meint man aber allgemein, auch Frequenzen unterhalb 250 Hz vernachlässigen und unter 125 ganz außer Acht lassen zu dürfen, obgleich sensible Menschen diesen Bereich i. A. noch sehr gut wahrnehmen können. Einige der Begründungen für diese Nachlässigkeit,

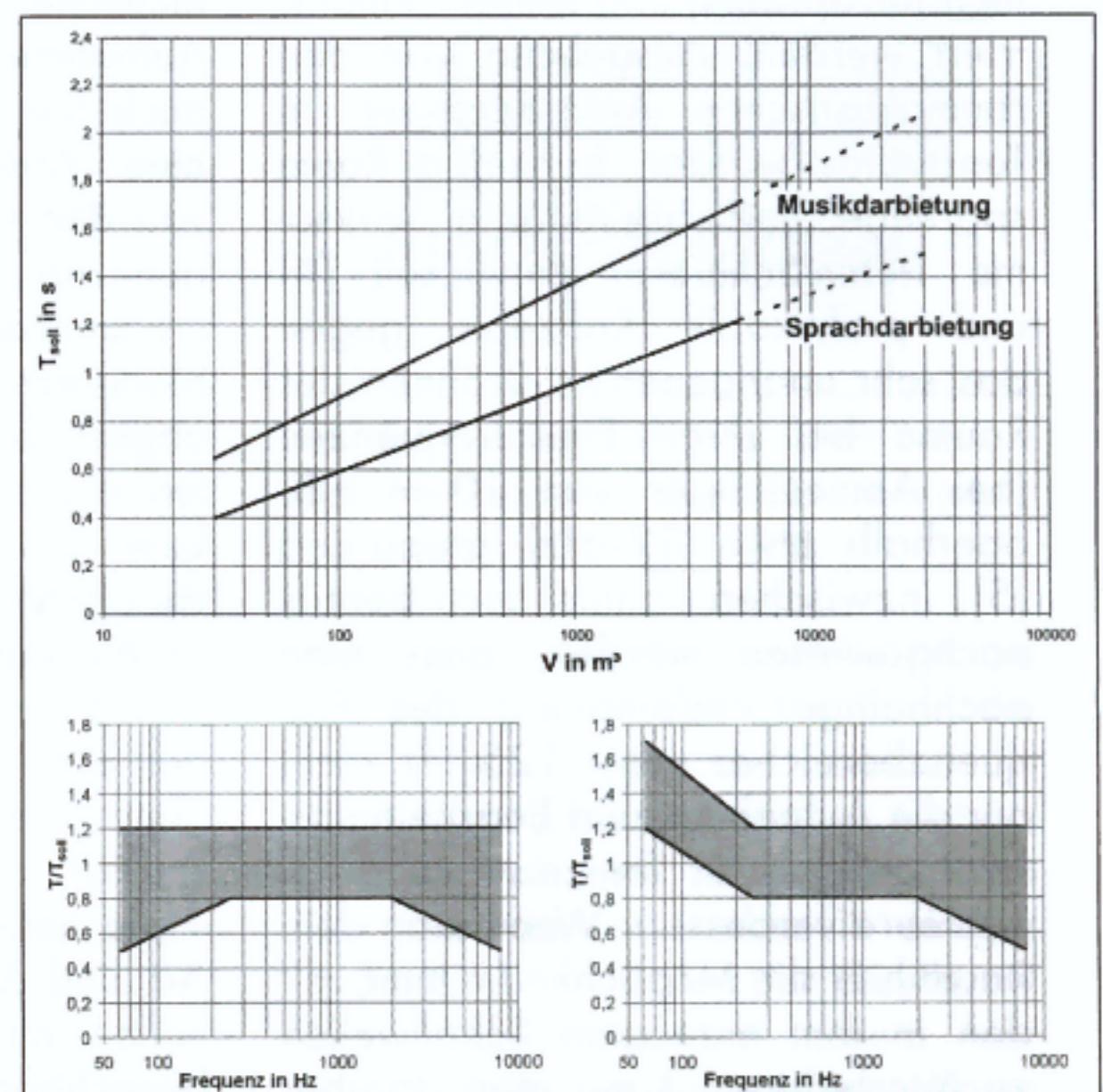


Abb. 1: Oben: Sollwert der bei 500 und 1 000 Hz gemittelten Nachhallzeit für Sprache und Musik in Abhängigkeit vom Raumvolumen. Unten: Frequenzabhängiger Toleranzbereich der Nachhallzeit bezogen auf  $T_{soll}$  für Sprache (links) bzw. Musik (rechts) nach [3]

- die für die Sprachverständlichkeit wichtigen Frequenzanteile seien nicht im Vokal- und Grundton-, sondern im Konsonantenbereich (vor allem oberhalb 1 000 Hz) zu hören,
- unter 125 Hz besäßen Berechnungen u.a. wegen zu geringer Modendichte „nur geringe Aussagekraft“,
- bei tieferen Frequenzen seien für die gebräuchlichen Baumaterialien „kaum Absorptionsgrade bekannt“,

kann man z.B. bei einem Initiator der Neuauflage dieser Baunorm nachlesen [1], die nicht erst seit der Veröffentlichung in 2004 mit ihren Anforderungen, die zumeist aus Literatur der 60er-Jahren herrühren, einige Diskussionen hervorgerufen hat [2]. In der DIN 18041 wird zwar das Toleranzband für die Frequenzcharakteris-

tik der Nachhallzeit für Sprache und Musik bis 63 Hz herunter spezifiziert (siehe Abb. 1).

Tatsächlich meinen aber manche Akustiker, die Nachhallzeit unter 125 Hz kaum messen zu können oder gar beurteilen zu müssen.

Dabei konnte in mittlerweile zahllosen Neubau- und Sanierungsvorhaben die große Bedeutung der Oktave zwischen 63 und 125 Hz (entsprechend etwa dem großen C bis H der Notenschrift) in Kommunikationsräumen für Sprache und Musik demonstriert werden. Ausgehend von den raumakustischen Anforderungen in Tonstudios wurden frühzeitig raum sparende und breitbandig wirksame Tiefen-Schlucker entwickelt [4] und praktikable Konzepte gegen das sehr unangenehme Dröhnen der Räume bei ihren Eigenfrequenzen (bei Abmessungen von 10 m z.B. oberhalb etwa 32 Hz) propagiert [5]. Inzwischen konnte auch bereits nachgewiesen werden, dass eine nachhaltige Bedämpfung des Frequenzbereiches unter 125 Hz nicht nur die Aufnahme- und Bearbeitungsbedingungen für Tonmeister und -ingenieure verbessert: Wenn man dem Raum hier die Möglichkeit nimmt, mit den in ihm erzeugten Schallwellen zu interferieren, kann man darüber hinaus auch

- die akustische Klarheit und Transparenz des Dargebotenen wohlthuend erhöhen,
- das gegenseitige Hören und Verstehen erheblich erleichtern,
- den unbewussten Zwang zum lauter als eigentlich erwünscht und notwendig Sprechen oder Musizieren abbauen.

Wenn man nämlich durch geeignete raumakustische Maßnahmen verhindert, dass die Nachhallzeit, wie es die Norm geradezu nahe legt, zwischen 125 und 63 Hz gern bis auf das Doppelte ihres Sollwertes bei den mittleren Frequenzen ansteigen kann, erreicht man eine Minderung der Expositionspegel von Musikern in ihren Orchestergräben, Proben-, Unterrichts- und Überäumen um ca. 10 dB(A) [6]. In Büro-, Dienstleistungs- und Call-Centern, für die DIN 18041 eigentlich gar keine Sollwerte der Nachhallzeit meint vorschreiben zu sollen, können geistig hart arbeitende Menschen auf diese Weise sogar um mehr als 20 dB(A) entlastet werden [7].

## Der neue Ansatz

Nach Abb. 1 unten rechts könnte man innerhalb der Toleranzfläche eine von den höchsten zu den tiefsten Frequenzen monoton ansteigende Nachhallzeit, wie sie in so vielen historischen und modernen Darbietungs- und Versammlungsräumen anzutreffen ist, für Musik geradezu als erstrebenswert, mindestens aber für normgerecht halten. In [8–10] wird dagegen – im krassen Widerspruch zu den verbreiteten Lehrmeinungen, Baunormen und Richtlinien – für die Darbietung und Aufnahme von Musik und Sprache auch aus klangästhetischen Gründen eine Absenkung der Nachhallzeit von den mittleren zu den tiefen Frequenzen hin propagiert. Denn tiefe Frequenzanteile werden von allen Klangerzeugern ziemlich ungerichtet abgestrahlt. Ihre Schallwellen sollten eigentlich die Ohren der Hörer bzw. die Mikrofone mit ebenso unverfälschter Kontur erreichen, wie es für die stärker gerichtet abgestrahlten Melodietonlagen und Formanten angestrebt wird. Tatsächlich interferieren aber – selbst bei gleichmäßiger Absorption aller reflektierenden Flächen – die tieferen Anteile auf destruktive Art und Weise viel stärker als die hohen mit den nächsten Rückwürfen benachbarter Wände. Wenn der weitere Raum aber die Tiefen auch noch stärker als die Höhen nachhallen lässt, entsteht so eine eigenartige, die Tiefen unnatürlich betonende „Raumfüllung“ – ein Phänomen, das von raumakustischen Theorien bislang noch zu wenig berücksichtigt wird. Durch die deshalb oft anzutreffende zu den Tiefen ansteigende Nachhallzeit bildet sich hier unvermeidbar ein konturlos wabernder Klangsumpf, aber kein festes Bass-Fundament mit einem markanten Direktschallanteil, auf welchem die Höhen ihr komplexes Klangbild aufbauen können.

Für die Wahrnehmung beim Zuhörer mag die starke raumbedingte Vermischung und Verfärbung der Basslinien gewohnheitsmäßig als „Räumlichkeit“, „Wärme“ und „Umhülltsein“ sogar positiv aufgenommen werden. Für Aufnahmen, in denen der hörbare Raumanteil im Gesamtklangbild eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt, sollte man dagegen die Nachhall-Charakteristik nach Möglichkeit so formen, dass die Intensität des reflektierten Schalls bei einem mittleren Mikrofon-Abstand zu den Quellen wenigstens etwa frequenzneutral wahrgenommen

wird. Nur so kann man, z.B. bei einer stereophonen Aufnahme, auch zu einer deutlichen Lokalisierung aller Quellen in einem größeren Ensemble von einer angemessen weit entfernten Mikrofonposition aus kommen, die bei der späteren Wiedergabe die gewünschte Fokussierung der Quellorte auch tieferer Tonlagen erleichtert.

Manche Solisten meinen zwar, vom sonoren Nachhall des Raumes für ihre Stimme irgendwie profitieren zu können. Aber alle Kompositionen mit vielschichtiger Stimmführung und großer instrumentaler Besetzung werden eindeutig besser durchhörbar und von den Musikern deshalb leichter zum Klingen gebracht, wenn man dem Raum keinen großen Einfluss auf die haltgebenden Basslinien gestattet. So kann auch der im Melodieton-Bereich wichtige Nachhall bei höheren Frequenzen für das gesamte Klangerlebnis viel besser zur Geltung kommen.

## Das Bass-Fundament als Klang-Basis

Seit ca. 15 Jahren wirbt der erste Autor, zusammen mit seinem damaligen Team am Fraunhofer IBP, für mehr Aufmerksamkeit und bessere Materialien zur Behandlung der tiefen Frequenzen in der Raumakustik, siehe zum Beispiel [4]. Inzwischen konnte in zahlreichen Sanierungs- und Neubauvorhaben demonstriert werden, wie sich zum Beispiel die Arbeitsbedingungen und -ergebnisse von Musikern beim Proben, Darbieten und Aufnehmen durch eine optimale Gestaltung des Nachhalls im Raum grundlegend verbessern lassen, siehe zum Beispiel [11, Abschn. 11.6.5]. Der zweite Autor, der wohl an die 70 Jahre Erfahrungen aus Höreindrücken und Musik-Aufzeichnungen mit unterschiedlichsten Techniken gewinnen konnte, ist der festen Meinung, dass der Frequenzbereich von 16 bis 250 Hz eine ganz eigenständige Bedeutung für den gesamten Klang-Kosmos hat (wohl wissend, dass von 63 Hz abwärts die korrekte Reproduktion progressiv schwieriger wird). In diesen vier Oktaven manifestiert sich das Fundament aller zusammengesetzten Klänge, auch die zum Klangerlebnis wesentlich beitragenden Einschwingvorgänge und Nebengeräusche der Musikinstrumente und Gesangsstimmen.

Schon die Naturklänge (z.B. Gewitter, Sturm, Hagel, Wasserfall und Meeresbrandung) enthalten ja – für den nicht besonders aufmerksamen Hörer meist unbemerkt – Schallanteile, die

bis in den Infraschall-Bereich hinabreichen. Der Übergang vom Hören zum nur noch Fühlen setzt übrigens schon weit oberhalb der hierfür nach Abb. 2 definierten Frequenzgrenze von

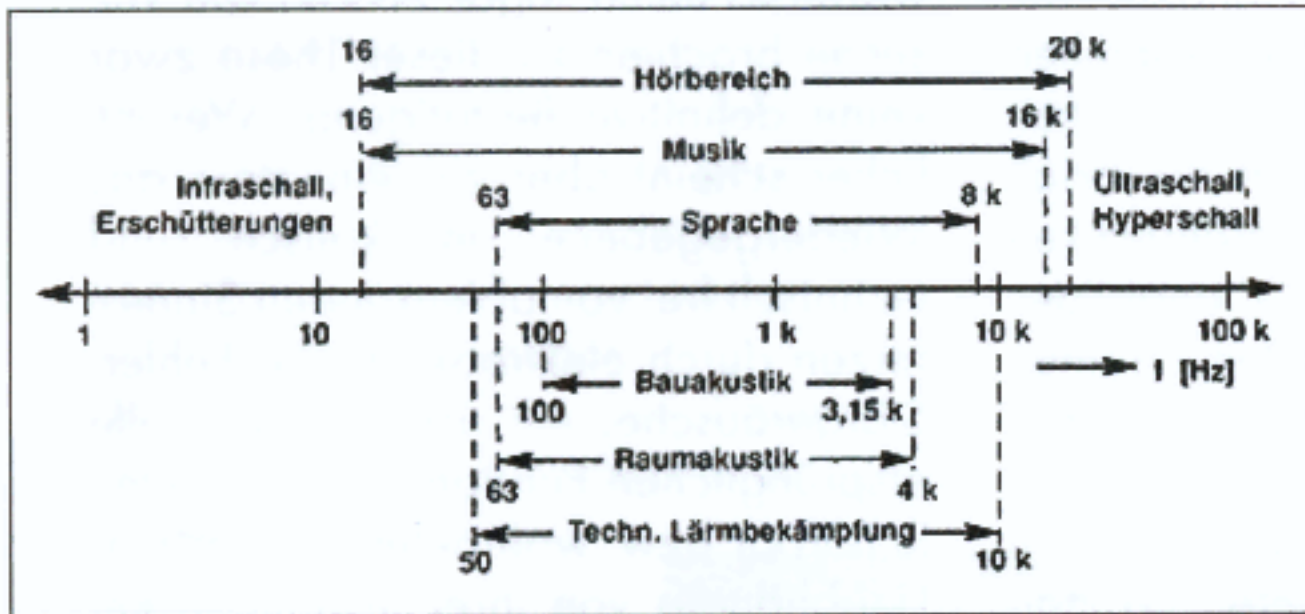


Abb. 2: Die verschiedenen Frequenzbereiche für das Hören nach [12]

16 Hz ein: Bereits um 40 Hz können Töne einen satt umhüllenden, sonoren Fundament-Eindruck entfalten, sofern der Raum dieses Erlebnis mit seinen eigenen Resonanzen nicht bereits im Ansatz ruiniert. In einem Interview für den „FOCUS“ (17/2008) betont der Dirigent M. Jansons das Klangideal seines großen Lehrmeisters H.v. Karajan mit den Worten: „... speziell die Benutzung der Kontrabässe: Karajan liebte die profunde Tiefe. Die Basslinien ließ er oft eine Oktave tiefer spielen. Das praktiziere ich mit vielen Orchestern.“

Bei 16 Hz liegt der normalerweise tiefste notierte Ton, das Subkontra-C der längsten (und seltenen) Orgel-„Bombarden“. Von den anderen Musikinstrumenten reichen nur Kontrabass, Kontrafagott, Basstuba, Harfe, Flügel und große Trommel mit ihren unterschiedlich starken Haupttönen bis in die Kontra-Oktave hinunter. Weit hin unbekannt und wenig beachtet ist jedoch, dass alle Blas- und Streichinstrumente, ganz besonders die Zupf- und Schlaginstrumente wie Harfe, Klavier, Trommeln, Pauken, Tumba, Bongo, Gong, Xylophon, Marimbaphon, Vibraphon etc., nicht nur ihre musikalisch definierten Töne aussenden, sondern daneben beim Anschlagen, Anblasen und Anstreichen sowie bei Lagenwechseln, Strichumkehr, Vibrato etc. auch aperiodische, u.U. ausgesprochen breitbandige Schallereignisse aussenden. Nicht selten reicht das Spektrum dieser zwar schwach-

chen, aber für das typische „Kolorit“ der jeweiligen Schallquelle und den Eindruck ihrer körperhaften „Gewichtigkeit“ sehr wesentlichen Anteile sogar bis in den Infraschall-Bereich hinunter.

In Abb. 3 ist zum Beispiel die zeitliche Entwicklung des Klangspektrums im Nahfeld, also ohne starken Raumeinfluss, eines Klaviers dargestellt, wenn auf diesem der Ton c''' angeschlagen wird. Außer dem Hauptton bei 1047 Hz, der sich beim genauen Hinsehen bzw. Hinhören erst allmählich (nach ca. 50 ms) aus einem ziemlich breitbandigen geräuschähnlichen Spektrum heraus entwickelt, sind noch einige, teils nur sehr schwach ausgeprägte, Obertöne bei etwa 2094, 3141 und 4188 Hz zu erkennen. Unterhalb des Haupttones werden aber ebenso deutlich

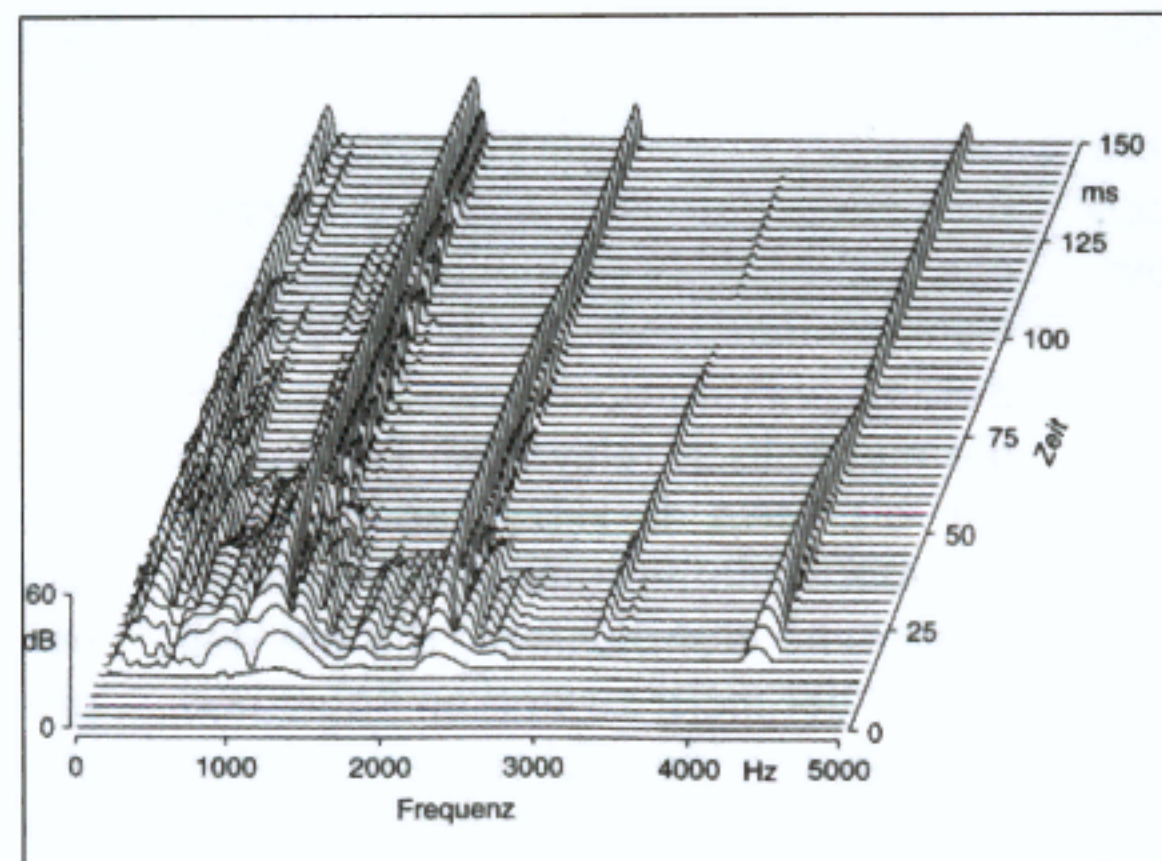


Abb. 3: Zeitliche Entwicklung des Klangspektrums nach dem Anschlagen des Tones c''' auf einem Klavier nach [13]

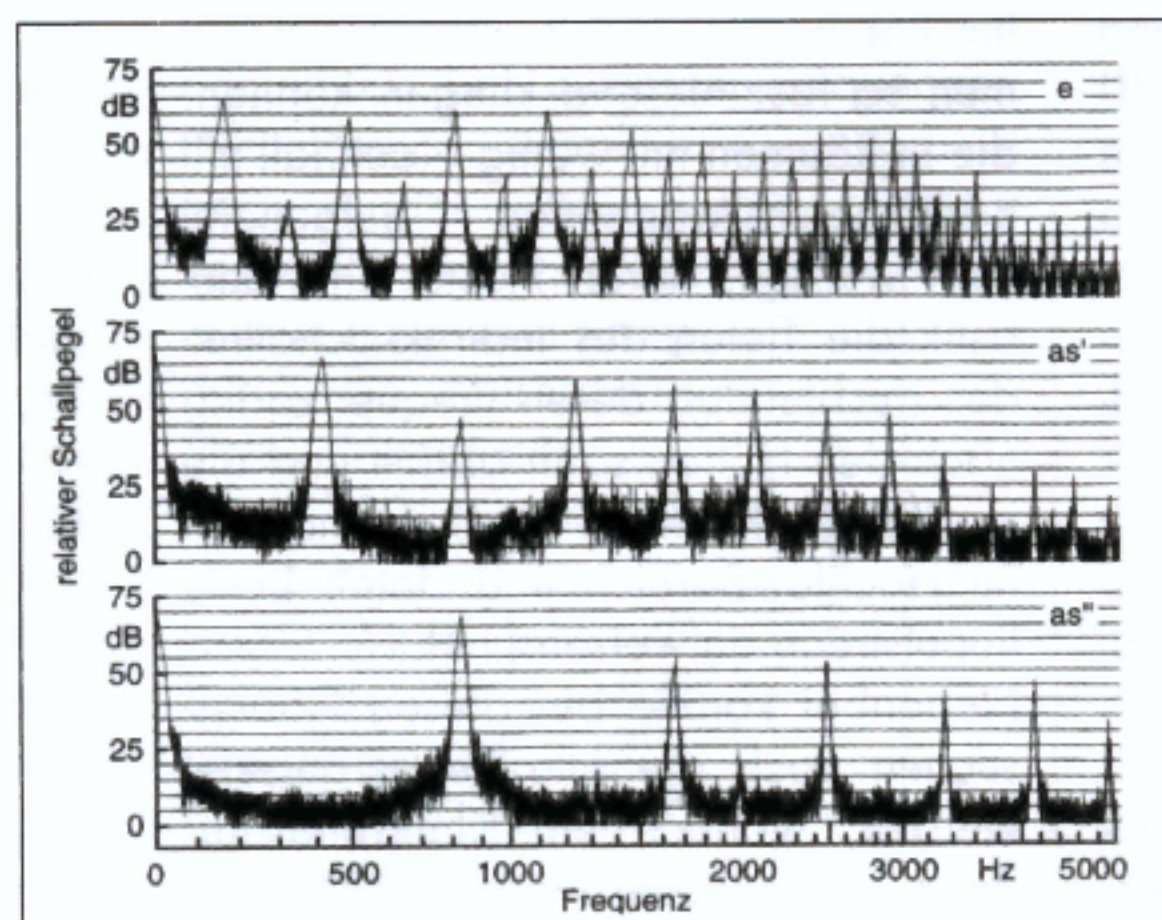


Abb. 4: Gemitteltes Klangspektrum beim Blasen der Töne e, as' und as'' auf einer Klarinette nach [13]

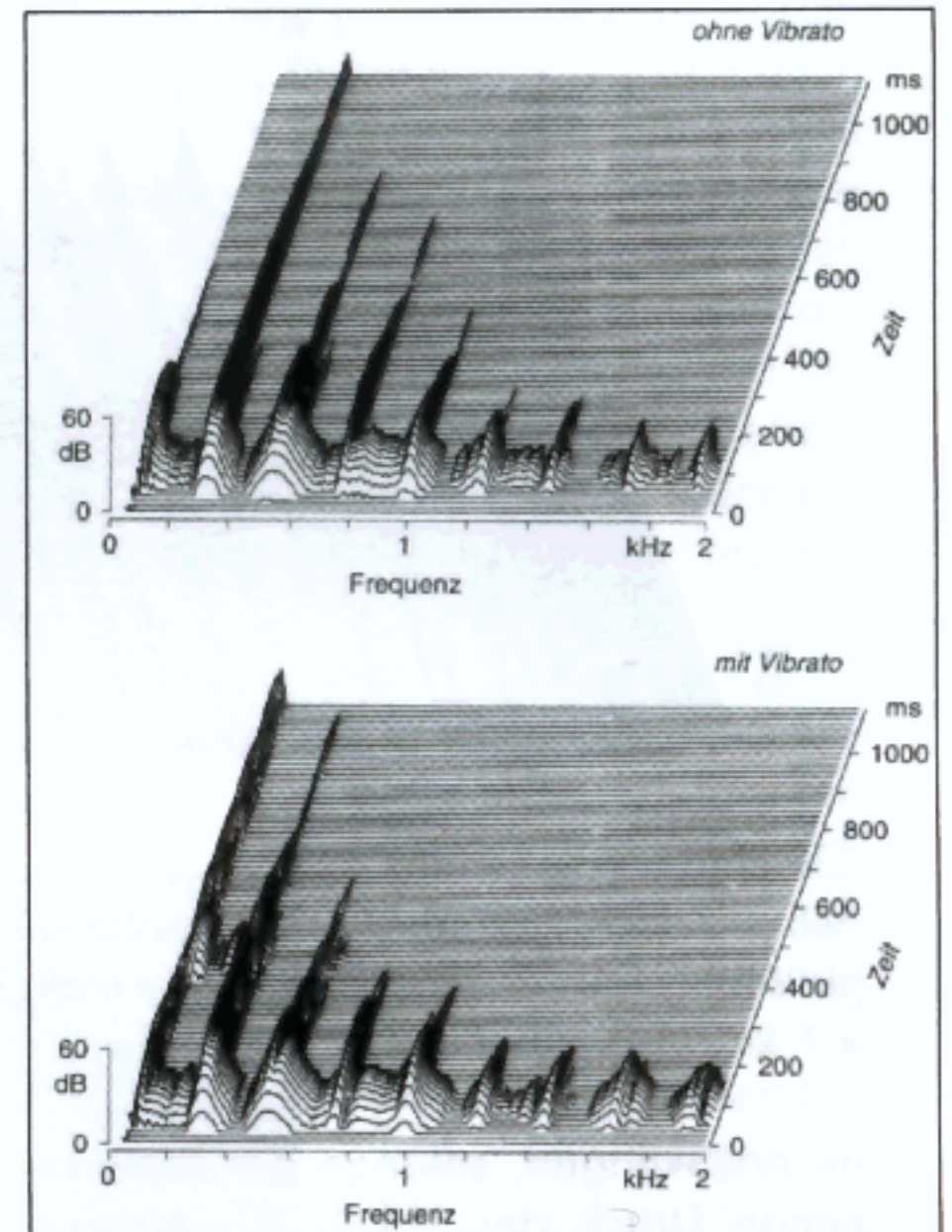


Abb. 5: Entwicklung der Klangspektren beim Zupfen des Tones h auf einer Violine ohne (oben) bzw. mit Vibrato (unten) nach [13]

lang anhaltende Klanganteile bis zu sehr tiefen Frequenzen erkennbar, die zwar wegen der Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs schwächer wahrgenommen werden, die aber in einiger Entfernung von der Quelle mit Reflexionen aus einem hier meist ungedämpften Raum stark interferieren und somit den Höreindruck beim Zuhörer wesentlich mit beeinflussen können. Besonders wenn dabei einzelne Resonanzen des Raumes angeregt werden, kann so das gewünschte und kultivierte tieffrequente Geschehen unangenehm laut beeinträchtigt werden.

Auch wenn auf einer Klarinette verschiedene Töne angeblasen werden, treten stets unter 125 Hz relativ energiereiche Klanganteile deutlich in Erscheinung (Abb. 4). Wie stark der Spieler diese Nebengeräusche durchaus bewusst und kunstvoll beeinflussen kann, geht z.B. aus Abb. 5 hervor, in der ein Streicher-Pizzicato beim Ton h aufgezeichnet ist: Ohne Vibrato gezupft, klingt der Hauptton bei 247 Hz viel länger nach als seine Obertöne, siehe Abb. 5 (a). Mit Vibrato (b) mündet ein Großteil der Schwingungsenergie dagegen in die Tiefen hinein, die dann länger als alle anderen Teiltö-

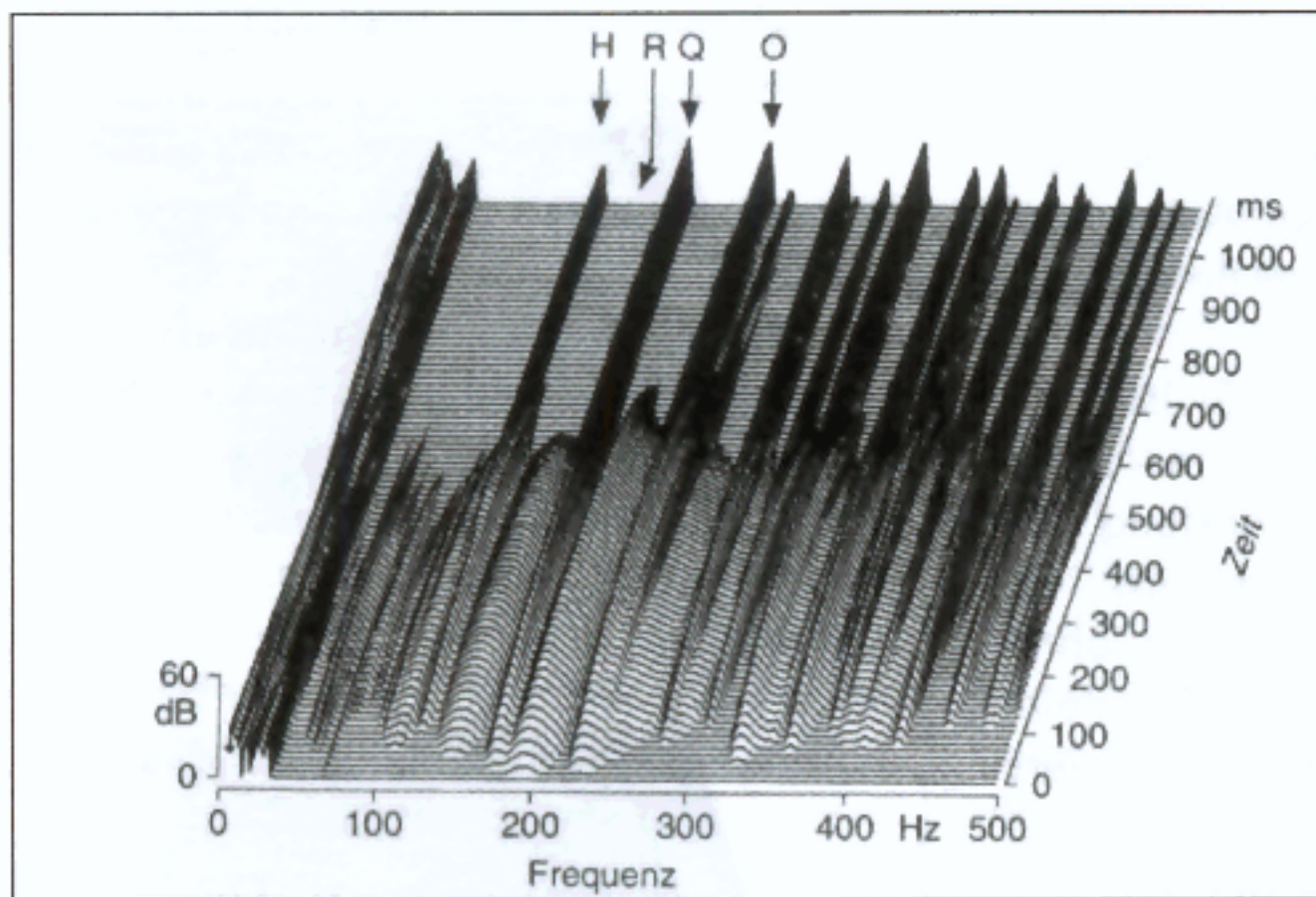


Abb. 6: Zeitliche Entwicklung des Klangspektrums nach dem Anschlagen einer auf den Ton A gestimmten Pauke nach [13]. H = Hauptton, R = 1. Ring-Mode, Q = Quinte e, O = Oktave a

ne nachklingen, solange der schwankende Druck des linken Fingers auf der jeweiligen Saite anhält.

Besonders vielfältig entwickeln sich Obertöne, Zwischentöne, Geräusche und tieffrequente Untertöne natürlich beim Anschlagen von Schlaginstrumenten. Abb. 6 zeigt zum Beispiel die Entwicklung des Klangspektrums einer auf A entsprechend 110 Hz gestimmten Pauke: Erst nach 0,5 s sind die Zwischentöne abgeklungen; die Untertöne bleiben auch nach 1 s noch stark neben Hauptton, Quinte, Oktave und Obertönen erhalten.

Es würde zu weit führen, hier die Tonentstehung und Schallabstrahlung der verschiedenen Musikinstrumente und der menschlichen Stimmen zu analysieren. Dazu wird auf das Standardwerk von J. Meyer [13] verwiesen. Hier sollen stattdessen die raumakustischen und klangästhetischen Aspekte des Bass-Fundamentes im Vordergrund stehen. In seinen ersten Berufsjahren (ab 1946) beim RIAS Berlin hat der erste Autor, im Nahfeld eines in eine freistehende 4 qm große Schallwand eingebauten elektrodynamischen 70 cm-Konus-Lautsprechers, ausgedehnte Hörproben mit geeigneten Aufnahmen unternommen. Es mag wie ein Kuriosum anmuten: Anders als die modernere, viel höher entwickelte Tonbandtechnik hatte die alte Aufnahmetechnik der Wachs-Zeit keine Probleme mit dem tiefen Bassbereich. Wenn die Wachs-Schreiber-Führung und die Abtastung mit professionellen Wandlern mechanisch ordnungsgemäß stabil waren, bei der Aufnahme schon Breitband-Kondensatormikrofone verwendet und in den Verstärkern (auch am Ausgang!) nur hochpermeable Übertrager verwendet wurden, hatten viele

Wachs-Schnitte saubere Frequenzgänge bis weit unter 20 Hz! Da empfand man auf einmal beim Abhören außer dem gespielten oder gesungenen Ton auch die originale Körperlichkeit des Klangbildes mit allen seinen Konturen; und, sehr überraschend, war man schon mit geringerer Abhörlautstärke zufrieden als bei fehlendem Tieftonanteil. Man

wünschte sich damals zwar inständig das Verschwinden von Knistern, Knacken und Abtastverzerrungen, aber eigentlich gar nicht so unbedingt weitere spektrale Erweiterungen nach oben herbei.

Diese Erfahrungen weckten schon damals die Einsicht, dass die untersten Oktaven in vielen Fällen tatsächlich mehr zur Herstellung von Realitätsnähe beitragen als eine „mühsam herbei gequälte“ Erweiterung des Hochton-Bereiches, den die meisten Menschen über 50 ohnehin nicht mehr wahrnehmen können. Man sollte in diesem Zusammenhang auch erwähnen, dass die musikalisch relevanten Formanten nur bis etwa 8 kHz hinaufreichen. Darüber kann man nur noch wertlose Geräusche wahrnehmen, die bei den wegen der meist zu starken Raumrückwirkungen leider üblich gewordenen kleinen Mikrofonabständen oft nur sehr stören. Hier sei beispielhaft das oft peinlich laute Atmen und Schnaufen mancher Akteure erwähnt. Das erklärt vielleicht auch, warum besonders im Pop-Bereich uralte Mono-Aufnahmen so faszinierend klingen können, die in Räumen mit wenig Nachhall mit Bändchen-Mikrofonen aufgenommen wurden, deren Achter-Charakteristik die Tiefen des Indirekt-Schallfeldes ausblendet, deren Frequenzgang nach den Höhen sanft abfällt und die im übrigen keinerlei Eigenresonanzen im Hochton-Bereich und damit beste Impulstreue aufweisen [14].

Nebenbei konnte bei diesen Hörversuchen auch die alte Regel getestet werden, wonach ein Klangbild nur dann ausgeglichen wirken soll, wenn das Produkt aus oberster und unterster Grenzfrequenz (in Hz) rund 400.000 beträgt. Das heißt, eine Wiedergabe,

die voll auch noch 16.000 Hz unterstützt, wäre demnach nur dann optimal, wenn auch 25 Hz gleichermaßen mitspielen dürfen; für die obere Grenzfrequenz der CD von 20 kHz wären es unten sogar 20 Hz! Die Versuche brachten zu dieser These zwar keine definitive Bestätigung. Wesentlicher scheint aber zu sein, dass das Wiedergegebene musikalisch und technisch frei von ablenkenden Sinnesreizen durch elektroakustische Fehler, Störgeräusche, etc. ist und dass alle ursprünglichen Fundament-Klanganteile hörbar bzw. wahrnehmbar werden. Unabhängig von ihrer jeweiligen Realisierbarkeit in den nun einmal so bestehenden Räumen ist die Einsicht ganz wichtig, dass dem Tieftonbereich raumakustisch und aufnahmetechnisch generell weit mehr Bedeutung beigegeben werden sollte, als das bis heute allgemein üblich ist. Wirkungsvolle Verbesserungen sind auch unterhalb 63 Hz jedenfalls von größerer Bedeutung als oberhalb 8 kHz, wo es ja eigentlich überhaupt erst dann Sinn machen würde, über Bandausweitung nachzudenken, wenn moderne Standard-Mikrofone verfügbar wären, die im Hochtonbereich frei von verfälschenden Eigenresonanzen sind, welche allerdings nicht selten als die ersehnte „Brillanz“ des Mikrofons angepriesen werden.

Leider sind die Hörgewohnheiten unkritischer Aufnahme-Konsumenten durch Millionen unvernünftig bemessener, in Gehäusen unsachgemäß integrierter und in schlecht konditionierten Umgebungen aufgestellter Lautsprecher inzwischen ziemlich verbogen und nachhaltig ruiniert worden. Aber auch die Aufnahmetechnik manipuliert bisher mangels sicherer Grundlagen (d.h. wissenschaftlicher Erforschung der Unterschiede zwischen mittelbarem und unmittelbarem Hören) nach der Methode „Versuch und Irrtum“, um den überwiegend zu mulmigen Räumen durch „Poly-Mikrofonie“ doch noch etwas von der erstrebten „Präsenz“ des Dargebotenen abzuringen. Wenn dann noch Musik-Produzenten die technischen Möglichkeiten erkannt und nach dem Rezept „Viel hilft viel“ im Studio entsprechend ihren Klangvorstellungen ausreizen wollen, werden allzu oft Kreisch- und Gröhl-Orgien (immer am roten „Füllstrich“ klebend) inszeniert, für welche Dutzende von Mikrofonen kaum 5 cm vor den jeweiligen Quellen platziert werden.

Dabei ist gerade für effektvolle Produktionen, wie auch für live mitgeschnittene „Audio-Events“ und deren aufnahmetechnische Nachbearbeitung die raumakustische Umgebung eminent wichtig. Ganz generell gilt: Um ein differenziertes Bass-Fundament als Basis für den gesamten Klang-Kosmos, gleich welcher Stilrichtung, generieren zu können, bedarf es einer „schlanken“ Raum-Akustik. Der leider noch weit verbreitete Anstieg der Nachhallzeit zu den Tiefen hin wirkt sich ausgesprochen kontraproduktiv aus. Nur wenn man durch bauliche Maßnahmen dafür sorgt, dass der tiefe Bassbereich klar und unverfälscht von den Musikern dargeboten und von den Tonschaffenden übertragen und aufgezeichnet werden kann, wird auch eine ausgezeichnete Wiedergabequalität ermöglicht. Denn der unterste Bereich des Schallspektrums, der das unabdingbare Material zum Bau eines transparenten Bass-Fundamentes liefern soll, sondern kann bei zu starkem Nachhall dazu führen,

dass sich im Raum stattdessen ein konturloses Wabern einstellt, welches die Fundament-Architektur einer Darbietung vernebelt und das darüber aufgebaute Klanggebäude verdeckt – eben zwei Seiten eines bisher viel zu wenig beachteten Phänomens.

#### Kirchenräume als Vorbilder

Man kann wohl davon ausgehen, dass auch die Komponisten, wenn man ihnen die Wahl ließe, für die Ausführung (und heutzutage am besten auch gleich die Aufzeichnung) ihrer Werke überwiegend Räume bevorzugen würden, die möglichst alle Einzelheiten und Feinheiten der Komposition durchhörbar lassen. Um aber für ein raumakustisches Konzept zu werben, welches eindeutig dem Gewohnten und Genormten widerspricht, braucht es schon einiger mustergültiger Räumlichkeiten, die von Sprechern, Sängern und Musikern in den unterschiedlichsten Besetzungen für Darbietungen und Aufnahmen gleichermaßen bevorzugt werden. Einen solchen Raum stellt

z.B. die 1932 fertig gestellte Jesus-Christus-Kirche in Berlin-Dahlem dar [8–10]. Daran ist besonders interessant, dass alle Baubeteiligten mit den schlimmsten Befürchtungen der Akustik dieses in schwerer Zeit mit geringstem Aufwand erstellten Gebäudes entgegensehen. Nicht einmal bei voller Besetzung mit über 1000 Besuchern meinte man, die Nachhallzeit der ursprünglich ca. 8400 m<sup>3</sup> großen Halle im damals verständlicherweise allein interessierenden oberen Frequenzbereich für die Predigt in Grenzen halten



Abb. 7: Ursprüngliche Innenansicht der Jesus-Christus-Kirche in Berlin-Dahlem (1931) zum Altarraum hin nach [15]

zu können. Vorsichtshalber rückte man deshalb die Kanzel in eine Raumkante (siehe Abb. 7) und plante auch noch zusätzlich einen „Schalldeckel“, damit sich der Prediger so der Gemeinde irgendwie verständlich machen könnte [15].

Tatsächlich wurden hier von Anfang an alle schlimmen Befürchtungen widerlegt, obgleich der Nachhall, wie befürchtet, bei mittleren Frequenzen tatsächlich ziemlich hoch ausfiel. Abb. 8 zeigt die Nachhallzeit in dem nach dem Krieg durch die Abtrennung eines Vorraumes auf ca. 7900 m<sup>3</sup> verkleinerten Kirchenraum: Im leeren bzw. schwach besetzten Zustand übersteigen die Messungen zwischen 500 und 2000 Hz mit maximal fast 3 bis 2,3 s bei weitem den von der DIN 18041 für

die Darbietung von Sprache vorgegebenen Sollwert von 1,3 s und auch denjenigen für Musik von 1,8 s. Weil aber die Nachhallzeit zu tieferen Frequenzen nicht etwa, so wie in derselben Norm propagiert, noch weiter ansteigt, sondern mindestens bis 63 Hz herunter ganz kontinuierlich abfällt, wirkt sich der relativ hohe Nachhall bei den mittleren und hohen Frequenzen hier offenbar nicht etwa negativ, sondern nur rundum positiv aus.

Nach dem einmütigen Urteil aller mittlerweile zahlreichen professionellen Nutzer zeichnet sich dieser Raum durch eine herausragende Raumakustik aus, die sich in Tausenden von überzeugenden Musik-Produktionen mit namhaften Solisten, Ensembles und Dirigenten seit Ende der 40er Jahre bewährt hat. Nicht nur erfahrene Tonmeister, sondern auch normale Konzertbesucher können die bis in die tiefsten Lagen klar durchhörbaren Basslinien und der sich darüber herrlich aufbauende und verschmelzende Klang-Kosmos geradezu „hörsüchtig“

machen – und zwar gleichgültig, wie viele Menschen den Raum jeweils füllen und so bei mittleren Frequenzen durchaus unterschiedlich bedämpfen. Dafür nehmen alle Ausführenden und Aufnehmenden sogar in Kauf, dass die sehr breitbandig absorbierende Dachkonstruktion (ganz aus Holz gebaut) eine durchaus mangelhafte Schalldämmung aufweist, die bei Aufnahmesitzungen so manchen zusätzli-

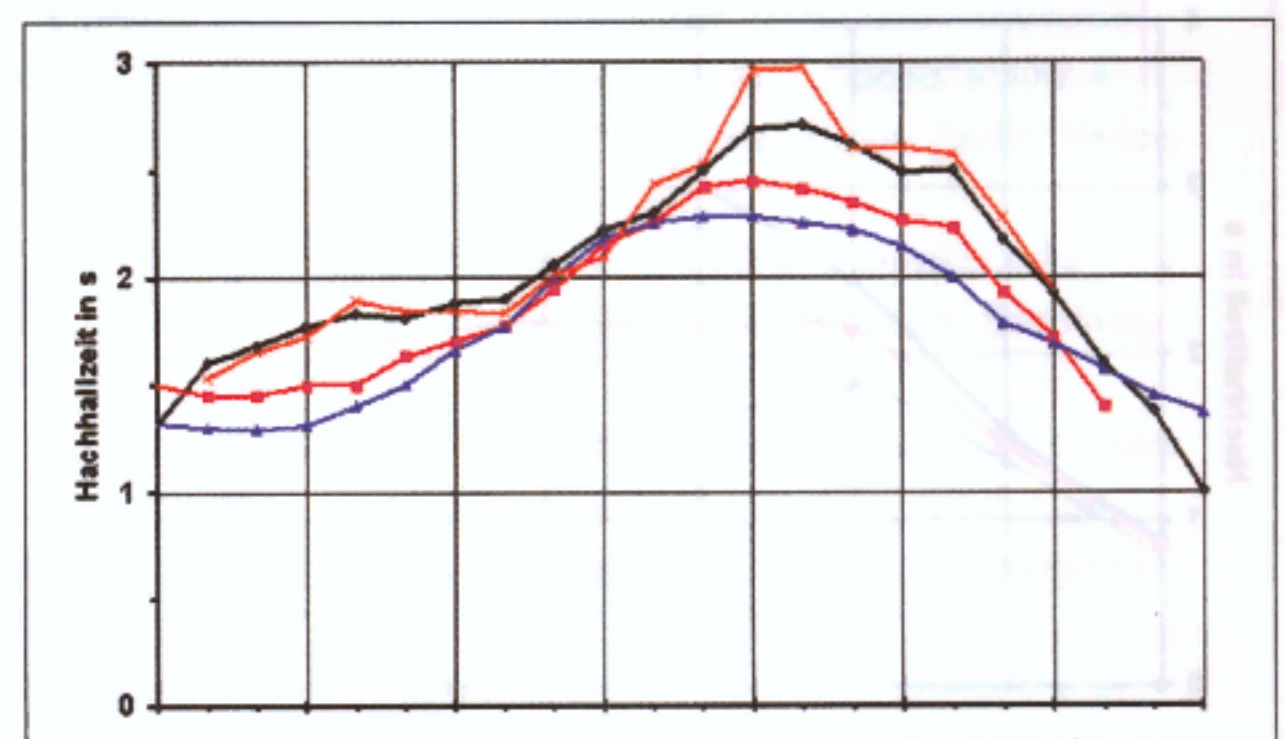


Abb. 8: Nachhallzeit in der Jesus-Christus-Kirche, gemessen zwischen 1952 und 1963 bei unterschiedlicher Bestuhlung und Besetzung mit Musikern nach [9]



Abb. 9: Heutige Innenansicht der Bachkirche in Arnstadt vom Altar aus nach [16]

chen Schnitt erfordert.

Aber noch heute erscheint selbst den zahlreichen zufriedenen Musikern, Zuhörern und Tonmeistern, die den Kirchenraum seit 60 Jahren ununterbrochen und intensiv nutzen, dessen für alle Schallereignisse förderliche Akustik immer noch etwas rätselhaft. Wie es hier, quasi durch Zufall, zu einer geradezu vorbildlichen Akustik gekommen ist, wird an anderer Stelle [10] ausführlich beschrieben und diskutiert.

Eine ganz ähnliche Nachhall-Charakteristik weist, wohl ebenfalls mehr zufällig als geplant, aber mit musikhistorisch mindestens ebenso weit reichenden Folgen, auch die Bachkirche in Arnstadt mit einem Volumen von ca. 6900 m<sup>3</sup> auf (Abb. 9). Hier steigt die Nachhallzeit gemäß Abb. 10 bei 1000 Hz sogar bis auf 3,5 s an – fast das Vierfache derjenigen bei 63 Hz! J. Meyer vermutet in [16] sicherlich zu Recht, dass diese Kirche, ebenso wie die Thomaskirche in Leipzig mit einer (vor ihrer radikalen Restaurierung Anfang dieses Jahrhunderts) ähnlich zu den Tiefen abfallenden Nachhallzeit, als langjährige Wirkungsstätten J. S. Bachs einen starken Einfluss auf die

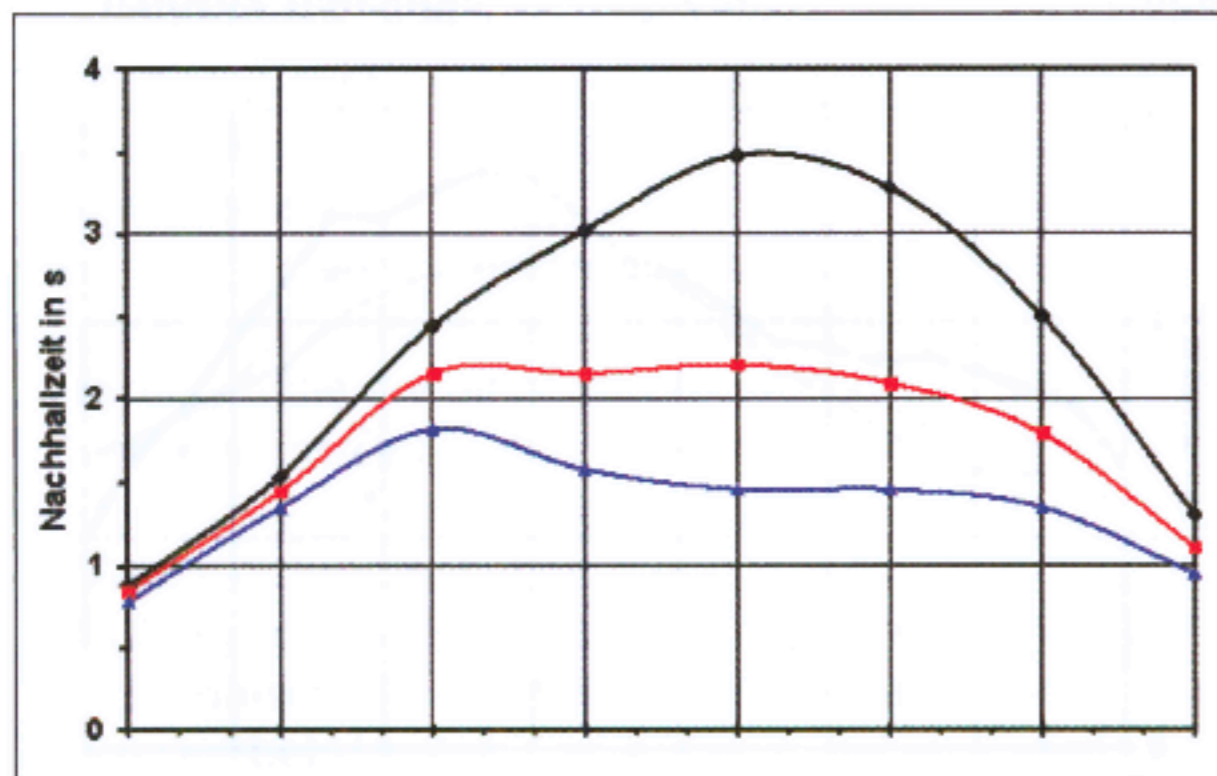


Abb. 10: Nachhallzeit der Bachkirche, 1999 gemessen im unbesetzten Raum (◆) und berechnet für nur unten besetzt (■) bzw. voll besetzt (▲) nach [16]

polyphonen Werke des großen Barock-Meisters ausgeübt haben müssen. Derselbe Autor weiß auch zu berichten, dass das Maximum des Nachhalls um 1000 Hz in der Jesus-Christus-Kirche der Grund war für H. v. Karajans Wunsch, dass auch die 1963 fertig gestellte Philharmonie in Berlin in diesem Frequenzbereich eine Anhebung aufweisen sollte, die dort allerdings viel schwächer ausfiel.

### Kritik an DIN 18041

Beide Autoren ergänzen sich in der Überzeugung, dass es höchste Zeit ist, sich über ein optimales Frequenzspektrum des Nachhalls in Räumen für jegliche sprachliche und musikalische Nutzung klar zu werden, und zwar nicht nur hinsichtlich ergonomischer und ökonomischer [6, 7], sondern auch hinsichtlich klangästhetischer Aspekte [9, 14]. Um ihren bauphysikalischen und aufnahmetechnischen Argumenten Nachdruck zu verleihen, diskutieren die Autoren ihr von herkömmlichen Vorstellungen und Gewohnheiten stark abweichendes raumakustisches Konzept anhand der gleich lautenden Nachhall-Charakteristik von zwei akustisch herausragenden Kirchen der Zeit J.S. Bachs (der Bachkirche in Arnstadt und der Thomaskirche in Leipzig vor ihrer Renovierung) sowie zwei ebenso weltweit wegen ihrer ausgezeichneten Akustik gepriesenen Zentren für erstklassige Musik-Produktionen (der Jesus-Christus-Kirche in Berlin-Dahlem und dem großen Sendesaal des ehemaligen DDR-Rundfunks in Berlin-Oberschöneweide).

Sie sind sich dabei klar darüber, dass eine optimale, zu den tiefen Frequenzen abfallende Nachhallzeit unter den heute vorherrschenden architektonischen und bautechnischen Bedingungen nicht leicht erreichbar ist. In zahlreichen Neubau- und Sanierungsprojekten konnte jedoch vorgeführt werden [11], dass eine solche Nachhall-Charakteristik, mindestens aber eine frequenzunabhängige Nachhallzeit wie z.B. im Großen Haus des

Staatstheaters Mainz, durchaus ohne Einschränkungen bei der Gestaltung und Nutzung der Räume realisierbar ist. Jedenfalls ist den Empfehlungen der erst 2004 verabschiedeten DIN 18041 unbedingt zu widersprechen, die (unter Ausnutzung der Grenzen in Abb. 1) sogar eine von den höchsten zu den tiefsten Frequenzen kontinuierlich ansteigende Nachhallzeit eigentlich für wünschenswert, mindestens aber für tolerierbar erklärt.

Gegenüber den hier vorgetragenen Argumenten und den jahrzehntelangen praktischen Erfahrungen aus zunächst scheinbar weit auseinander liegenden Arbeitsfeldern müssen die in der einschlägigen Literatur immer wieder vorgetragenen und nachstehend aufgeführten Gründe für einen zu den Tiefen ansteigenden Nachhall allmählich doch verblassen:

- (a) Alle menschlichen Stimmen und Musikinstrumente, auch ein voller Orchesterklang, strahlen ein zu tiefen Frequenzen abfallendes Schallspektrum ab,
- (b) das menschliche Ohr weist eine zu den Tiefen geringere Empfindlichkeit bzw. höhere Hörschwelle auf,
- (c) die Kurven gleicher Lautstärke rücken zu tiefen Frequenzen immer enger zusammen.

Diesen drei „Defiziten“ meint die in DIN 18041 zementierte Lehrmeinung mittels einer geringeren Dämpfung und eines stärkeren Nachhalls bzw. eines langsameren Abklingens der tiefen Töne gegenüber den höheren entgegen wirken zu können. Abgesehen davon, dass die These (a) nicht stimmt, wenn Schallquellen ihren Maximalpegel bei ihren Grundtönen haben und diese zum Beispiel bei einem Pizzicato der Kontrabässe viel länger nachklingen als die Obertöne, ist die Vorstellung, man könne ein Defizit im Bassbereich durch mehr Tieftönen-Nachhall kompensieren, ein fundamentaler Irrtum. Er basiert wesentlich darauf, dass die Väter und Vertreter dieser Norm die Wahrnehmung von Schall offenbar vor allem quantitativ bewerten. Tatsächlich kommt es aber für das unmittelbare Hören (Konzertsaal) und, mehr noch, für das mittelbare Hören (Übertragung) nicht nur auf die Quantität (Pegel, Lautstärke) sondern auch auf die Qualität (Präsenz, Kontur) der Schallquellen am Ohr des Hörers an. Als Maß für die Durchhörbarkeit einer Stimme, eines Instrumentes, bietet sich

der stark frequenzabhängige, so genannte Hallabstand  $rH$  in m nach [16] an, bis zu welchem der Direktschall den Diffusschall (der sich aus den Mehrfachreflexionen im Raum zusammensetzt) derselben Quelle in Abhängigkeit vom Raumvolumen  $V$  in  $m^3$  und der Nachhallzeit  $T$  in s überwiegt:

$$rH = 0,057 \Gamma(f) \sqrt{\frac{V}{T(f)}}$$

Darin bedeutet  $\Gamma$  den dimensionslosen Richtfaktor der jeweiligen Quelle, welcher den Schalldruck in einer bestimmten Richtung im Verhältnis zum Schalldruck beziffert, der sich im selben Abstand einstellen würde, wenn die Quelle ihre Schallleistung völlig gleichförmig in einen reflexionsfreien Raum abstrahlen würde.

Alle Instrumente bzw. Stimmen sind so gebaut bzw. angeboren, dass sie ihre Schallenergie möglichst gut zu einem oder mehreren Zuhörern (oder auch Mikrofonen) hin übertragen können. Dies gelingt ihnen aber grundsätzlich bei tiefen Frequenzen viel schlechter als bei hohen. Bass-Instrumente, beispielsweise die Tuba, strahlen nach [16] unter 125 Hz fast kugelförmig ab (z.B.  $\Gamma < 1,5$ ), bei 400 Hz schon mit  $\Gamma = 2,0$ , aber bei 2000 Hz sogar mit 6,6! Diese Tendenz lässt sich natürlich allein durch eine mit der Frequenz entsprechend wachsende Nachhallzeit  $T(f)$  in s im Raum gemäß obiger Gleichung nicht kompensieren. Es erscheint aber geradezu widersinnig, für einen zu den Tiefen ansteigenden Nachhall zu plädieren. Vielmehr sollte man durch gezielte raumakustische Maßnahmen (starke frühe Reflexionen in der Nähe der Bass-Instrumente und Tiefen-Absorption im Raum) überall für einen möglichst gut durchhörbaren, markanten Direktschallanteil auch im Tieftönen-Bereich sorgen. In [2] wurden für diese Thesen mit E. Skudrzyk, G.v. Bekesy, W. Reichardt, H. Kuttruff und E. McCue bereits einige namhafte Zeugen aus der Vergangenheit ausführlich zitiert. Die Autoren sind sich dennoch recht klar darüber, dass es noch einiger Überzeugungsarbeit bedarf, um bei den Akustik-Beratern und -Planern für die Zukunft im Hinblick auf die Bedeutung der tiefen Frequenzen ein generelles Umdenken zu bewirken.

#### Fazit

Die hier dargestellten Beispiele mit herausragend guter Akustik für die Dar-

bietung und Aufnahme von Musik sind zwar nicht das Ergebnis sorgfältiger raumakustischer Planungsarbeit nach den heute verfügbaren Simulations- und Rechenverfahren [3]. Sie sollten aber im Zusammenhang mit den hier vorgetragenen aufnahmetechnischen, bautechnischen und ergonomischen Erfahrungen Anlass sein, um über die tradierten Konzepte und aktuellen Norm-Anforderungen [1,2] etwas nachzudenken. Die Zeiten sind längst vorbei, da man für Musik-Aufnahmen etwa zusätzliche Mikrofonproben ansetzen und so die Eigentümlichkeiten der jeweiligen Aufnahmeräume individuell berücksichtigen konnte. Heute sähen Veranstalter, Produzenten und Sponsoren es am liebsten, wenn die Besucher schon beim Verlassen des Konzertsales die fertige CD mit den gerade gehörten Werken mit nach Hause nehmen könnten.

Das gelingt heute nur mit einer Vielzahl von Mikrofonen im Nahfeld der Ausübenden, die den Saal praktisch ausblenden oder aber in einem Raum, der eben keinerlei destruktiven Einfluss auf das Dargebotene und das Aufzunehmende hat. Es liegt daher nahe, die hierfür in Frage kommenden Räume mit jetzt ebenfalls verfügbaren einfachen, aber dabei hochwirksamen baulichen Maßnahmen [11] nach den inzwischen zahlreich gewonnenen Erkenntnissen so zu konditionieren, dass alle Künstler, Techniker und Zuhörer ihre Arbeit erleichtern und ihren Hörgenuss steigern können.

Erst wenn der tieffrequente Mulm aus dem Raum genommen wurde, kann man sich auf bis zu 15 weitere raumakustische Kriterien konzentrieren. Diese werden ausführlich und aktuell zum Beispiel in [3] diskutiert, aber traditionell bisher fast ausschließlich im oberen Frequenzbereich zwischen 500 und 2000 Hz (oder gar nur bei 1000 Hz) berechnet, gemessen und beurteilt. In Zukunft sollte man die Erfahrungen aus der akustischen Gestaltung im Bassbereich von Auditorien zum Aufnehmen, Bearbeiten und Abhören stärker als bisher üblich auch auf Säle zum Darbieten von Musik und Sprache zur Anwendung bringen: Was sich für Musiker, Sänger und Sprecher [6, 7] sowie Tonmeister und -ingenieure [4, 5, 9, 10] so vorteilhaft auswirkt, kann für die Zuhörer in Konzertsälen, Opernhäusern und Theatern nicht von Nachteil sein! Eine Bereinigung und Klarstellung des Bass-Fundamentes verschafft vielmehr

erst die Freiräume für Architekten und Akustiker, ihrem individuellen Design bei den so wichtigen hohen Frequenzen zu folgen. ●

#### Literatur

- [1] Ruhe, C.: Der Nachhall wird kürzer. Trockenbau-Akustik (2003), Sonderheft Akustik, S. 36-40
- [2] Fuchs, H.V.: Neufassung von DIN 18041 – ein Weckruf für gute Raumakustik. Bauphysik 25 (2003), H. 6, S. 350-357
- [3] Ahnert, W.; Tennhardt, H.-P.: Raumakustik. In: Weinzierl, S. (Hrsg.): Handbuch der Audiotechnik, Kap. 5. Berlin: Springer 2008
- [4] Fuchs, H.V.; Hunecke, J.; Zha, X.: Alternative Schallabsorber verbessern Aufnahme- und Wiedergabe-Bedingungen. Tonmeister-Informationen (1994), H. 9/10, S. 14-19
- [5] Fuchs, H.V.; Zha, X.: Schluß mit der Modenschau in Audio-Räumen! Tonmeister-Informationen (1998), H. 3/4, S. 10-14
- [6] Fuchs, H.V.: Mehr akustische Transparenz bei niedrigeren Schallpegeln. VDT-Magazin (2007), H. 3, S. 25-31
- [7] Fuchs, H.V.; Renz, J.: Raumakustische Gestaltung offener Bürolandschaften. Bauphysik 28 (2006), H. 5, S. 305-320
- [8] Fuchs, H.V.: Raumakustische Gestaltung von Umgebungen zum Darbieten, Aufnehmen und Wiedergeben von Sprache und Musik. Bauphysik 29 (2007), H. 6, S. 398-406
- [9] Burkowitz, P.K.: Psychoakustische Verformungen der Wahrnehmung von aufgenommenem Schall. VDT-Magazin (2006), H. 1, S. 10-18
- [10] Fuchs, H.V.; Burkowitz, P.K.: Gute Raumakustik – nur ein Zufall? Eine Dokumentation über die Jesus-Christus-Kirche in Berlin-Dahlem. Erscheint in: Gesundheits-Ingenieur
- [11] Fuchs, H.V.: Schallabsorber und Schalldämpfer. Innovative akustische Konzepte und Bauteile mit praktischen Anwendungen in konkreten Projekten. Berlin: Springer, 2007
- [12] Fasold, W.; Veres, E.: Schallschutz + Raumakustik in der Praxis. Berlin: Verlag Bauwesen 2003
- [13] Meyer, J.: Akustik und musikalische Aufführungspraxis. Frankfurt: Bochinsky 1995
- [14] Burkowitz, P.K.: War analog die bessere Klangwelt? Was steckt hinter den gegenwärtigen Gerüchten? VDT-Magazin (2007), H. 3, S. 36-40
- [15] Bachmann, J.: Jesus-Christus-Kirche in Berlin-Dahlem. Deutsche Bauzeitung (1932), S. 287-290
- [16] Meyer, J.: Kirchenakustik. Frankfurt a. M.: Bochinsky 2003