

Zur Steigerung der Wirkung passiver Absorber: Schall in Raumkanten schlucken!

Helmut V. Fuchs, Janna Lamprecht und Xueqin Zha

Dem Schallschutz im Hochbau gegenüber Fremdgeräuschen wird seit über 50 Jahren allseits höchste Aufmerksamkeit geschenkt. Die in Arbeits- und Freizeiträumen bei intensiver Kommunikation durch ihre Nutzer selbst erzeugte Schallbelastung wird dagegen fast immer und überall vernachlässigt. Das liegt einerseits an fehlendem Verständnis für dieses z. B. in Bildungs- und Gaststätten allgegenwärtige Problem. Es mangelt bisher aber auch an praktikablen raumakustischen Maßnahmen, die sich kostengünstig in das gegenwärtige Bau- und Sanierungsgeschehen einfügen lassen. Hier können neu auf diesen aktuellen Bedarf zugeschnittene *Kanten-Absorber* auf Basis passiver (poröser oder faseriger) Dämpfungsmaterialien eine riesige Marktlücke in optimaler Weise füllen.

1. Einleitung

PISA-Studien und Job-Börsen decken erschreckende Defizite im Lehr- und Lernerfolg unserer Bildungseinrichtungen auf. Vor Wissen und Können steht das Verstehen: Da ca. 75% des Lehrstoffs über Sprechen vermittelt wird, spielt Sprachverständlichkeit im Lernprozess eine entscheidende Rolle. Weil aber Frontalunterricht vom Lehrer zu seinen Schülern gegenüber interaktiver Kommunikation Aller zurückgetreten ist, hat die akustische Konditionierung der Räumlichkeiten in KiTas, Horten, Schulen und Hochschulen eine zentrale Bedeutung erlangt. Auch in den anderen unter der Rubrik Unterricht/Diskussion in *Tabelle 1* beispielhaft angeführten Räumen, ebenso wie in denen unter der Rubrik Arbeit/ Freizeit, sind raumakustische Maßnahmen zwingend notwendig geworden. Bei überwiegend schallharten Begrenzungen, die auch wegen ihrer thermischen Aktivierung unverkleidet bleiben sollen, und schrumpfenden Etats für Innenausbau, Einrichtung und Renovierung müssen Schall dämpfende Bauteile heute aber sehr konkrete neue Anforderungen erfüllen. Die herkömmlichen Paneele an Decke und Wänden, Akustikdecken und -putze, Teppiche und Vorhänge werden diesen nicht mehr gerecht.

Wenn es nur um eine optimale schalltechnische Problemlösung ginge, könnte man zwar auf marktgängige *Verbundplatten-Resonatoren* und *Breitband-Kompaktabsorber* nach [1] (dort Abschn. 5.3 und 10.2) verweisen, die inzwischen z. B. an zahllosen hochwertigen Büro- und Musiker-Arbeitsplätzen [2, 3] die Schallbelastungen deutlich und nachhaltig senken. Diese auch nachträglich einzubauenden Module eignen sich zwar auch gut z. B. für repräsentative Empfangshallen und Restaurants, sind aber angesichts leerer öffentlicher Kassen als Standard für einen massenhaften Einsatz in Bildungsstätten einfach zu teuer. Konventionelle passive (faserige oder poröse) Schallabsorber, wie sie in auf dem Boden stehenden

Tabelle 1. Kommunikationsintensiv genutzte Räume mit hohen akustischen Anforderungen.

Unterricht/Diskussion	Arbeit/Freizeit
Kindergärten	Mehrpersonen-Büros
Klassenzimmer	Dienstleistungszentren
Turn- und Sporthallen	Schalterhallen
Musikräume	Probenräume
Hörsäle	Anwalts- und Arztpraxen
Konferenzräume	Operationssäle
Flure und Treppen	Krankenzimmer
Pausenhallen	Empfangsräume
Tagungsstätten	Gaststätten
Mensen	Großküchen
Museen	Bahnhofs- und Messehallen

Schallschirmen bzw. in abgehängten Kassetten und Segeln in Fabrikhallen zum Einsatz kommen, müssen in auch hygienisch sehr anspruchsvollen Umgebungen wie z. B. in Großküchen und Betrieben der Lebensmittelindustrie ganz besonders qualifiziert werden [4].

In dieser herausfordernden Situation kann eine Entwicklung weiter helfen, die jüngere Erfahrungen zur Lärmentstehung in Kommunikationsräumen [5, 6] berücksichtigt und auf einem bewährten Konzept zur Dämpfung des Bassbereichs in Tonstudios [7] aufbaut (Stichwort: *Raum-Moden* [8]).

Für Räume kleiner und mittlerer Größe können sehr einfach zu installierende *Kanten-Absorber* ein allgegenwärtiges Problem der Raumakustik kostengünstig lösen und die geschilderte Marktlücke auf geradezu ideale Weise füllen. Dazu müssen allerdings einige Vorurteile bei Architekten wie bei Akustikern überwunden werden, die durch die aktuelle Norm *DIN 18041-2004* nicht abgebaut, sondern leider noch zementiert wurden [9, 10].

2. Zur Lärmentstehung in Kommunikationsräumen

Beim Lärm in Hörsälen, Unterrichts- und Speiseräumen, der für die hier vorzustellende innovative Entwicklung den Anstoß gab, denken Fachleute wie Laien zunächst

Prof. Dr.-Ing. Helmut V. Fuchs und Dipl.-Phys. Janna Lamprecht, Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin e.V. (FSA), Dynamostraße 7–11, 68165 Mannheim, E-Mail: hvfuchs@hotmail.com; Prof. Xueqin Zha, Terrassenstraße 21c, 14129 Berlin.

immer an die Störungen von außen (Verkehr, Gewerbe, Nachbarschaft) oder innen (Arbeitsabläufe, Hausinstallationen, Nutzergeräusche). Aber selbst wenn diese 30 dB(A) als üblichen Grenzpegel für den Schallschutz im Hochbau nach DIN 4109-1989 weit überschreiten, sind sie nicht für die dort leider häufigen Belastungen bis über 80 dB(A) verantwortlich. Stattdessen erzeugen, jedenfalls in akustisch schlecht konditionierten Räumen, auch in sterilen Bädern und Küchen, die Nutzer selbst durch ihre Kommunikation derart hohe Schallpegel – sie sind gewissermaßen Täter und Opfer zugleich.

Grundsätzlich verdeckt ein Störgeräusch nützlichen Schall am stärksten in genau dem Frequenzbereich, der seinem jeweiligen Spektrum entspricht, also z.B. eine Kinderstimme die andere. Erst wenn die zweite im Pegel deutlich über der ersten Stimme liegt, wird sie verständlich. Dies kann bereits bei im Freien tobenden Kindern zu hohen Gesamtpegeln führen. Es lag deshalb nahe, dass man sich auch mit der Dämpfung im Raum zunächst auf den für Sprache generell wichtigsten Frequenzbereich oberhalb 500 Hz konzentriert hat. Aber auch zu beiden Seiten eines Störgeräusches oder -tones ist eine deutliche Anhebung der Hörschwelle im Spektrum festzustellen. Man weiß auch, dass grundsätzlich die Verdeckung hoher durch tiefe Frequenzanteile stärker ist als umgekehrt, s. [1] (dort Abschn. 11.3). Weniger bekannt und schlechter verstanden ist aber eine wichtige Folgeerscheinung: Die Sprachverständlichkeit, die wesentlich durch Frequenzanteile im kHz-Bereich bestimmt ist, wird selbst durch extrem tiefe Frequenzen (jedenfalls unter 250 Hz, mindestens bis 63 Hz herunter) noch stark beeinträchtigt. Die Erkenntnis, dass der Raum insbesondere mit seinem tieffrequenten Nachhall direkt auf die in ihm Kommunizierenden einwirkt [9], war selbst für viele Experten nur schwer nachvollziehbar und Maßnahmen, diesem Phänomen wirksam entgegenzutreten, konnten sich nur entsprechend langsam durchsetzen. Auch Aufrufe wie die in [11, 12] verhalten wirkungslos im akademischen Blätterwald. Hier soll deshalb mit einer allgemein verständlichen Erklärung, vor Allem aber mit einer praktischen und preiswerten Anleitung zum Handeln, noch einmal nachgelegt werden – getreu einem Motto des Herausgebers dieser Zeitschrift: „Der eine wartet, dass die Zeit sich wandelt, der andere packt sie kräftig an und handelt“ [13].

3. Der Raum wirkt akustisch mit

In herkömmlicher Betrachtung geht man von einer bzw. mehreren Quellen mit einer bestimmten, vom Raum weitgehend unabhängig vorgegebenen Schallleistung, Frequenz- und Richtcharakteristik und von einem Raum aus,

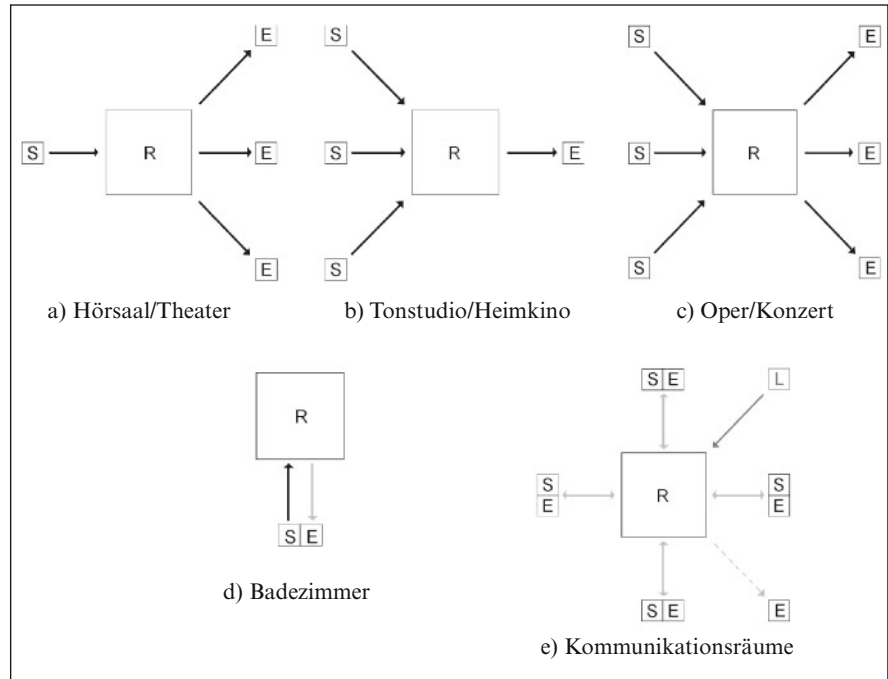


Bild 1. Akustische Sender und Empfänger in ihrer Wechselwirkung mit dem Raum [1].

der nach Maßgabe seiner charakteristischen Übertragungsfunktion die Schallwellen zu einem oder mehreren Empfängern gemäß *Bild 1a* überträgt. In akustisch optimal gestalteten Hörsälen und Theatern, Opern- und Konzerthäusern funktioniert der Raum tatsächlich wie ein, wenn auch nicht gerade lineares, so doch brauchbares oder sogar angenehmes Übertragungsglied zwischen dem jeweiligen Sprecher und seinen Zuhörern (*Bild 1c*). Auch in akustisch „neutralisierten“ Studio-Räumen zum Abhören und Bearbeiten von einzelnen (oder auch mehreren) Stimmen gleichzeitig gemäß *Bild 1b* übertragen Monitore das Gespeicherte auch unverzerrt zumindest auf einen Platz im Nahfeld, meist den des Tonmeisters, auf den hin der Raum akustisch getrimmt wurde.

Bei einer eingehenderen Beschäftigung mit kommunikationsintensiv genutzten Räumen stellt man aber fest, dass dieses „lineare“ Modell die realen Verhältnisse mit lebendigen Akteuren nicht richtig beschreibt: So nimmt der muntere Sänger, der morgens in seinem Badezimmer aus voller Kehle den neuen Tag begrüßt, sich (und seine Umgebung) zwar mächtig verstärkt, aber nur verzerrt wahr. Denn er (und u. U. seine Nachbarn) hören weniger die individuellen Resonanzen seiner eigenen Stimme sondern diejenigen des weitgehend ungedämpften Raumes. In *Bild 1d* ist diese Rückkopplung zwischen Sender, Empfänger und Raum durch den rechten Doppelpfeil angedeutet.

Auch wurde längst nicht bei jedem Kunst-Tempel der Akustik oder dem Akustiker die nötige Aufmerksamkeit geschenkt. Als Folge können z. B. die Zuhörer hier und da dem Geschehen auf der Bühne akustisch nur schwer folgen. Die Missachtung raumakustischer Anforderungen und die daraus unvermeidlich resultierenden, eigentlich unzumutbaren Arbeits- oder Freizeitumgebungen kulminieren aber in unzähligen kleinen bis mittelgroßen Räumen nach *Tabelle 1*. Dabei handelt es sich nach dem

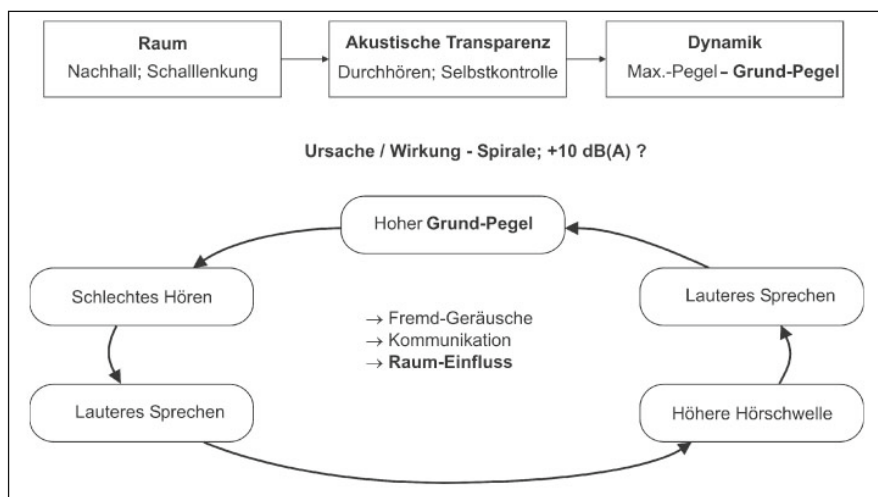


Bild 2. Modell für das Zustandekommen unnötig hoher Schallpegel in akustisch schlecht konditionierten, kommunikationsintensiv genutzten Räumen [1] (dort Abschn. 11.5).

so genannten *Lombard*-Effekt um den unbewussten Versuch, durch lauterer Sprechen, Kommandieren oder Musizieren das Verdeckungs-Phänomen zu durchbrechen, s. [1] (dort Abschn. 3.4). Die Anhebung der Geräuschpegel eskaliert entlang der Lautheits-Spirale in *Bild 2*, nach welcher Stimmentfaltung und Hörschwellen-Verschiebung, sich gegenseitig bedingend, immer stärker werden, bis schließlich keiner sein eigenes Wort mehr versteht. Kein Sprecher ist dann noch in der Lage, mit individuellem Ausdruck zu artikulieren, weil ihm dafür keine ausreichende Dynamik in der Stimme mehr zur Verfügung steht. Wenn dann etwa noch elektro-akustische Verstärkung zu Hilfe genommen wird (*L* in *Bild 1e*), ist das akustische Chaos perfekt. Eine Party kann man vielleicht noch rechtzeitig verlassen, den Arbeitsplatz, z. B. einen Schulungsraum, meistens aber nicht – mit den leider allzu bekannten Folgen. Der Raum wirkt also an allen Gesprächen mit, und zwar fast immer nur destruktiv. Dies ist in *Bild 1e* durch die vielen Doppelpfeile angedeutet, die die Rückkopplungen zwischen dem Raum und seinen in ihm kommunizierenden Nutzern symbolisieren sollen.

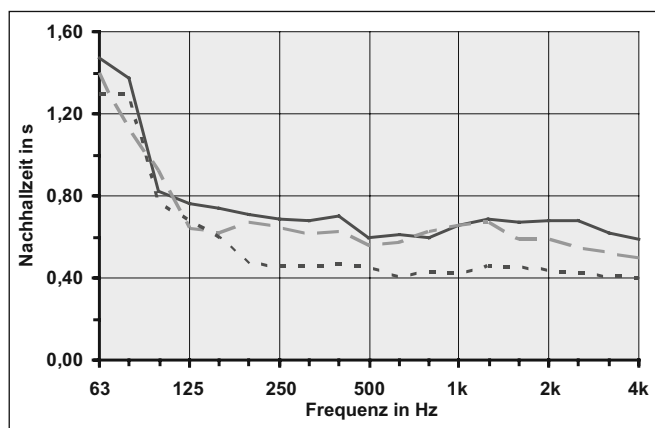


Bild 3. Nachhallzeit in einem Klassenzimmer mit Akustik-Decke nach [14]; a) unbesetzt (durchgezogen), b) besetzt (punktiert), c) unbesetzt, mit zusätzlicher Absorption in den oberen Kanten an Rück- und einer Seitenwand (strichliert).

Übrigens bekommt auch ein Gesprächsteilnehmer in einem weit entfernten Raum (strichlierter Pfeil in *Bild 1e*), der in einer Telefon- oder Video-Konferenz an einer Kommunikation teilnehmen soll, das akustische Problem leider ganz gut mit; auch er hebt unwillkürlich seine Stimme an. Sogar der Fernsehzuschauer daheim kann Zeuge schlechter Studio-Akustik werden, wenn etwa in einer „Talk-Show“ die Diskutanten nicht gesittet nur jeweils einer, sondern viele gleichzeitig reden zu müssen glauben. Aber nur wenige Moderatoren wissen, dass dies zwar ein tadelnswertes Verhalten ist, dass man den Aufnahme- aber durchaus akustisch so gestalten kann, dass er auch mehrere Stimmen gleichzeitig sauber unterscheidbar überträgt.

Auch die „Mikrofonierung“ lässt sich dadurch wesentlich vereinfachen.

4. Das raumakustische Konzept

Früher meinte man, diesen destruktiven Einfluss des Raumes eliminieren zu können, indem man möglichst viel Absorption für Frequenzen oberhalb 500 Hz einbaut. Wären Fremdgeräusche in diesem Frequenzbereich dominant, so wäre diese Strategie nach dem in Abschn. 2 Gesagten auch nicht falsch. Wenn dagegen die Sprecher selbst die Lärmquelle darstellen, geht sie am eigentlichen Ziel vorbei: Sie dämpft die für die Sprachverständlichkeit so wichtigen Zisch- und Explosivlaute der Konsonanten (zwischen 1 und 8 kHz) und lässt den Raum dumpf dröhnen. Wenn man den entsprechenden Empfehlungen der aktuellen *DIN 18041-2004* [10] wie in [14] folgt und z. B. in einem Klassenzimmer die Decke, die Rückwand sowie eine Seitenwand teilweise absorbierend gestaltet (an letzteren mit 30 mm Mineralfaser-Paneele in 20 mm Abstand von der Wand), dann lassen sich die Sollwerte dieser Norm für den $9,3 \cdot 6,9 \cdot 3,2 = 204 \text{ m}^3$ großen Raum für diese Nutzungsart sowohl im unbesetzten ($T_{\text{soll}} = 0,77 \text{ s}$) als auch im besetzten Zustand ($T_{\text{soll}} = 0,57 \text{ s}$) sogar deutlich unterschreiten. Der Anstieg zu den Tiefen hin bleibt so aber, trotz dieser normalerweise ebenfalls unbezahlbar hohen Aufwendungen, stets erhalten, s. *Bild 3*.

Ein zweiter Beitrag zum selben Akustik-Forum der zitierten Zeitschrift [15] kommt einer ganz anderen Problemlösung, wie sie in [16] ausführlich diskutiert wird, schon viel näher: Der Autor kritisiert zu Recht, dass nach dem Einbau konventioneller Akustik-Decken „die Nachhallzeit gerade in den tiefen Frequenzen außerhalb des Toleranzfeldes liegt“ [15] (dort Abb. 2) und dass solche Räume „meist brummig wirken“. Er versucht mit einigem Erfolg, diesem Problem mit einer zusätzlichen, 80 mm dicken und 1 m breiten Auflage aus Mineralwolle im immerhin 200 mm tiefen Deckenhohlraum am Rand zur Rückwand sowie zu den beiden Seitenwänden zu

begegnen. Mit einer Pegelminderung um 7 dB(A), gemessen im normalen Unterricht, wird einmal mehr der Vorteil einer dadurch nahezu frequenzunabhängigen Nachhallzeit von ca. 0,6 s (mindestens bis 100 Hz herunter) deutlich und der Autor sieht „sämtliche Aussagen vorangegangener Untersuchungen bestätigt“ [15] (vielleicht meint er damit auch diejenigen in [17]?).

Wenn man nämlich die mittleren und ganz gezielt die tiefen bis sehr tiefen Frequenzanteile im Raum absorbiert, dann dämpft man alle Anregungen in einem Bereich, der ohnehin keinerlei für die Verständigung wichtige Informationen enthält. Diese Anregungen bei den Tiefen, durch Sprache, Geräte und Anlagen, aber auch durch Nutzergeräusche, wie Räuspern strapazierter Kehlen oder Stuhl Rücken auf hartem Boden, bilden zusammen sonst eine Art von „Nebel“, den die viel wichtigeren Komponenten höherer Frequenz nur schwer durchdringen können. Gelingt es aber, den Raum von diesem „Murm“ zu befreien, schafft man der Sprache (wie übrigens auch jeder Musik) ein tragfähiges Fundament [18] für ihre Kommunikationsfunktion. Durch das hier nochmals propagierte Konzept wird

- akustische Transparenz geschaffen,
- gute Sprachverständlichkeit erreicht,
- entspannte Unterhaltung möglich.

Erst wenn der Raum durchhörbar gemacht wird, können die jeweiligen Gesprächsteilnehmer einander akustisch folgen, ohne im Geringsten laut werden zu müssen – gleichgültig wie viele gleichzeitig an der Kommunikation teilnehmen. Nur so wird auch ausdrucksvollere Sprache mit der dazu notwendigen Dynamik möglich, ohne dass dadurch die Lautheits-Spirale nach *Bild 2* angestoßen wird. Wenn sich in einem dementsprechend konditionierten Raum alle Nutzer akustisch behaglich fühlen, können sie ihre Stimmen zurücknehmen, damit andere Nutzer im selben Raum nicht unnötig gestört werden. So können beliebig viele Nutzer gleichzeitig frei im Raum miteinander kommunizieren, und es entsteht ein verhaltener, sehr gleichmäßiger Grundgeräuschpegel, der dann auch für eine angemessene Vertraulichkeit vielfacher Unterhaltungen sorgt. Dieses Konzept konnte bereits in zahlreichen Sanierungsprojekten, geradezu körperlich spürbar, erprobt werden [16, 17].

5. Kanten-Absorber als Problemlöser?

Die Akzeptanz und Einsicht in die Notwendigkeit akustischer Konditionierung von Räumen für lebhaftere Kommunikation ist noch sehr gering. Für alle bisher diskutierten baulichen Maßnahmen, auch die meisten in [1, 16, 17] propagierten Alternativen, müssen generell relativ große Flächen im Raum belegt werden. Das macht sie zu einem unbeliebten Hindernis im immer mehr rationalisierten Baugeschehen, sowohl für Architekten als auch für Investoren und Bauherren. Aktuell werden deshalb neu gebaute, aber auch aufwändig restaurierte Räume der *Tabelle 1* ganz überwiegend „nackt“ und entsprechend hallig den jeweiligen Nutzern übergeben. Das ist auch bei Luxus-Villen meist nicht anders. Die Nutzer haben dann mit den

akustischen Unzulänglichkeiten für die Darbietung und Kommunikation in diesen professionellen, öffentlichen und privaten Räumen zu leben oder müssen versuchen, mit meist untauglichen Hilfsmitteln nachträglich selbst für höheren akustischen Komfort zu sorgen. So suchen z. B. Eltern von Lärm geplagter Kinder und Lehrer oder Leiter von Musikkapellen für ihre Räumlichkeiten zum Lernen, Üben und Darbieten weiter Zuflucht zu Eierkartons und Schaumstoffmatten, um ihre sowie die Ohren und Nerven ihrer Zöglinge zu schonen und effizienter arbeiten zu können. Viel sinnvoller wäre es natürlich, für alle Räume der *Tabelle 1* die Akustik wieder zum unabdingbaren Bestandteil des Innenausbau zu machen. So ließen sich alle durch die Nutzer selbst verursachten Schall- und Lärmprobleme ein für allemal nachhaltig lösen.

Damit das raumakustische Konzept in Abschn. 4 unter den rauen Bedingungen des Marktes aber überhaupt eine neue Chance bekommen kann, müssen breitbandig wirksame Schallabsorber angeboten werden, die das Problem bei den Tiefen an seiner Wurzel packen, ohne die mittleren und hohen Frequenzen zu vernachlässigen. Sie müssen sich aber kostengünstig und optisch attraktiv noch besser in den Innenausbau integrieren lassen als jedwede Schall dämpfenden Vorsatzschalen und Paneele an Decken, Wänden oder Einrichtungsgegenständen. Schalltechnisch ideal ist logischer Weise eine Anordnung, deren äquivalente Absorptionsfläche A in m^2 etwa die gleiche Frequenz-Charakteristik aufzuweisen hat wie die in *Bild 3* dargestellte Nachhallzeit T in s, damit diese nach

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (1)$$

im jeweiligen Raum damit optimal geglättet werden kann. Die üblichen porösen oder faserigen Akustik-Paneele oder -Putze vor einer schallharten Fläche weisen dagegen bekanntlich einen Absorptionsgrad, bezogen auf ihre Oberfläche S_A in m^2 ,

$$\alpha = \frac{A}{S_A}, \quad (2)$$

bei hohen Frequenzen von nahe 1 auf, der aber leider unterhalb einer Frequenz f_u in Hz nach Maßgabe seiner Dicke d_α in mm steil abfällt:

$$f_u \approx \frac{43}{d_\alpha} 10^3. \quad (3)$$

Nur mit einer unrealistisch dicken solchen Absorber-Belegung, z. B. $d_\alpha = 400$ mm in einer Fläche von $S_A = 12 \text{ m}^2$ auf dem Boden eines mit $V = 220 \text{ m}^3$ mittelgroßen Raumes, von einem Rahmen aus 9,5 mm dicken Gipskarton(GK)-Platten umschlossen, ergäbe sich nach *Bild 4c* ein Absorptionsgrad, der auch unter 100 Hz noch dem maximal möglichen Wert nahe kommt.

Wenn man denselben Absorber (in dieser Untersuchung stets: Mineralwolle mit einer Dichte von ca. 25 kg/ m^3) dagegen als Streifen, 400 mm dick und 500 mm breit (mit schmalseitig wiederum einem GK-Rahmen und breitseitig mit einer ebenfalls 9,5 mm dicken GK-Lochplatte mit einem Lochanteil von 20%) 6,48 m lang entlang einer unteren Kante von Ecke zu Ecke im selben Raum

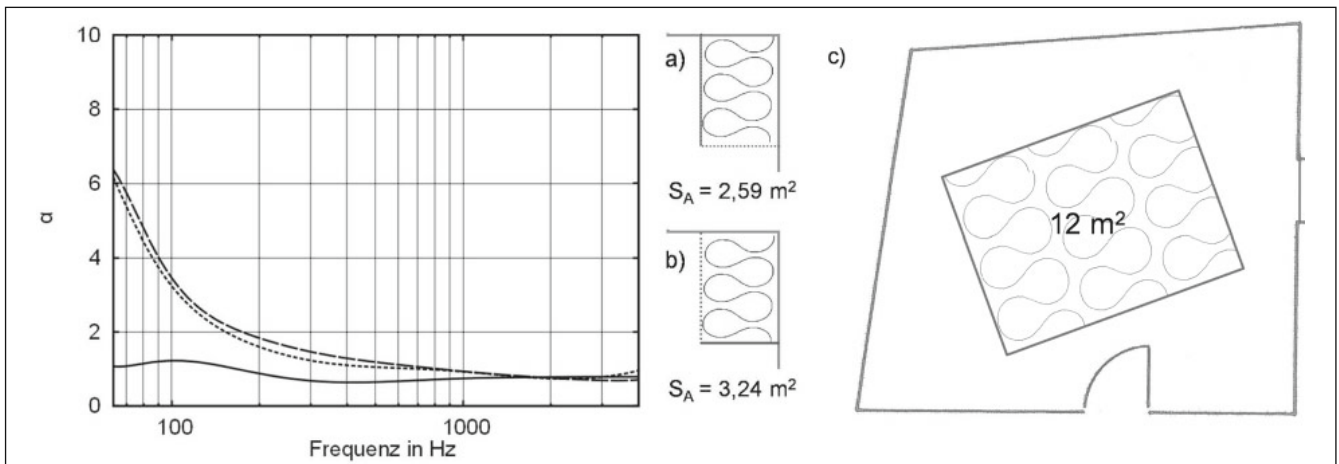


Bild 4. Gemittelter Absorptionsgrad von Kanten-Absorbern in den Abmessungen $400 \cdot 500$ mm mit Mineralwolle-Füllung im Vergleich zur flächigen Anordnung desselben Materials mit umlaufenden Rahmen, jeweils bezogen auf die offene Fläche S_A . a) breite Seite mit GK-Platten, schmale mit GK-Lochplatten abgedeckt (strichliert); b) schmale Seite mit GK-Platten, breite mit GK-Lochplatten abgedeckt (punktirt); c) 12 m^2 flächig ausgelegte Mineralwolle (durchgezogen).

auslegt, so misst man, bezogen auf die Fläche $S_A = 3,24 \text{ m}^2$, bei hohen Frequenzen (oberhalb 1 kHz) etwa denselben Absorptionsgrad. Zu den tiefen Frequenzen (bis 125 Hz) steigt dieser aber schon auf mehr als den doppelten und zu den sehr tiefen (bis 63 Hz) sogar auf den sechsfachen Wert an, s. *Bild 4b*.

Auch wenn man die Abdeckungen der schmalen und breiten Seiten dieses Kanten-Absorbers vertauscht, ergibt sich, entsprechend bezogen auf dann $S_A = 2,59 \text{ m}^2$, eine ganz ähnliche Absorptions-Charakteristik, s. *Bild 4a*. Was die Wirkung (über A) derselben Menge an passivem Dämpfungsmaterial auf die Nachhallzeit nach Gl. (1) angeht, so ist die Abdeckung gemäß *Bild 4b* also günstiger als die breitere in *Bild 4a*, weil die absorbierende Fläche dort wirklich bis in die Kante des Raumes hinein reicht. An dieser Stelle sei aber betont, dass alle Messungen unter etwa 250 Hz relativ stark streuen. Deswegen wurden mindestens zwei Send- und sechs Empfangspositionen zur Ermittlung der jeweiligen, stets in Terzen

gemessenen Nachhallzeiten im Raum ausgewertet und anschließend alle Kurven einer Glättung unterzogen.

Bereits ein nur oberflächlicher Vergleich der Ergebnisse in *Bild 3* und *4* zeigt, dass diese Schallabsorber ein sehr probates Mittel zur Vergleichmäßigung der Nachhall-Charakteristik mittelgroßer Räume darstellen, ja sogar für eine Absenkung derselben zu den Tiefen hin taugen könnten. Jedenfalls lohnt es sich, die Auslegung dieser Absorber, gerade im Hinblick auf diesen bisher bedauerlicher Weise meist vernachlässigten Frequenzbereich, etwas eingehender zu untersuchen und weiter zu entwickeln. Zunächst zeigt *Bild 5* für Kanten-Absorber ganz ohne jede Abdeckung, dass die gemessene Absorptionsfläche A bei mittleren und hohen Frequenzen stets näherungsweise der freien Oberfläche S_A entspricht. Zu den sehr tiefen Frequenzen hin fällt A bei einer Bautiefe von $d_\alpha = 200 \text{ mm}$ gemäß *Bild 5d* und *e* erwartungsgemäß entsprechend Gl. (3) deutlich ab. Das charakteristische Spektrum der Kanten-Absorber stellt sich offenbar erst für $d_\alpha \geq 400 \text{ mm}$ ein:

Beim Absorber $400 \cdot 500 \text{ mm}$ steigt A gemäß *Bild 5c* mit 20 m^2 bis auf das 6,2-fache durch ihn belegten Grundfläche von $3,24 \text{ m}^2$ an – ein eindrucksvoller Multiplikator für seine akustische Wirksamkeit! Dieser noch leicht handhabbare Querschnitt wird nachfolgend im Vordergrund stehen. Aber natürlich kann man sich auch mit anderen Abmessungen den jeweiligen schall- und bautechnischen Anforderungen anpassen.

Die besondere Wirksamkeit dieser Absorberanordnung bleibt auch bei einer Abdeckung mit den oben beschriebenen GK-Lochplatten näherungsweise erhalten, vgl. *Bild 6a* und *b*. Natürlich kann man den darin erkennbaren Absorptionsverlust weiter reduzieren, indem man Abdeckungen mit größerem Lochanteil bzw. geringerem Strömungswider-

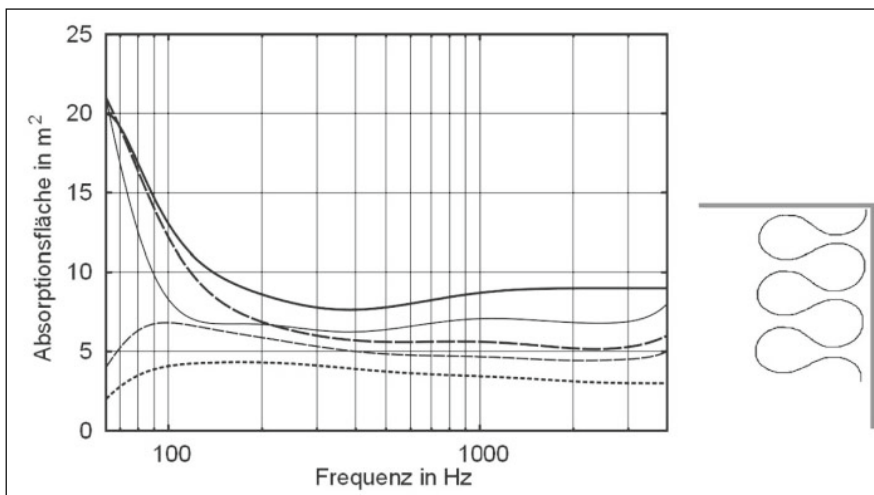


Bild 5. Gemittelte äquivalente Absorptionsfläche von Mineralwolle unterschiedlichen Querschnitts lose in einer unteren Kante eines mittelgroßen Raumes in einer Länge von $6,48 \text{ m}$ von Ecke zu Ecke angebracht. a) $400 \cdot 1000 \text{ mm}$: $S_A = 9,07 \text{ m}^2$ (dicke Linie); b) $200 \cdot 1000 \text{ mm}$: $S_A = 7,78 \text{ m}^2$ (dünne Linie); c) $400 \cdot 500 \text{ mm}$: $S_A = 5,83 \text{ m}^2$ (dick strichliert); d) $200 \cdot 500 \text{ mm}$: $S_A = 4,54 \text{ m}^2$ (dünn strichliert); e) $200 \cdot 250 \text{ mm}$: $S_A = 2,92 \text{ m}^2$ (punktirt).

Bild 6.

Gemittelte äquivalente Absorptionsfläche eines Kanten-Absorbers gemäß Bild 5c mit unterschiedlichen Abdeckungen. a) ohne Abdeckung (dünne Linie); b) beide Seiten mit GK-Lochplatten abgedeckt (9,5 mm dick, 20% Lochflächenanteil) (punktirt); c) breite Seite mit GK abgedeckt (Dicke: 9,5 mm), schmale Seite offen (strichliert); d) breite Seite mit GK abgedeckt, schmale mit GK-Lochplatten (dicke Linie).

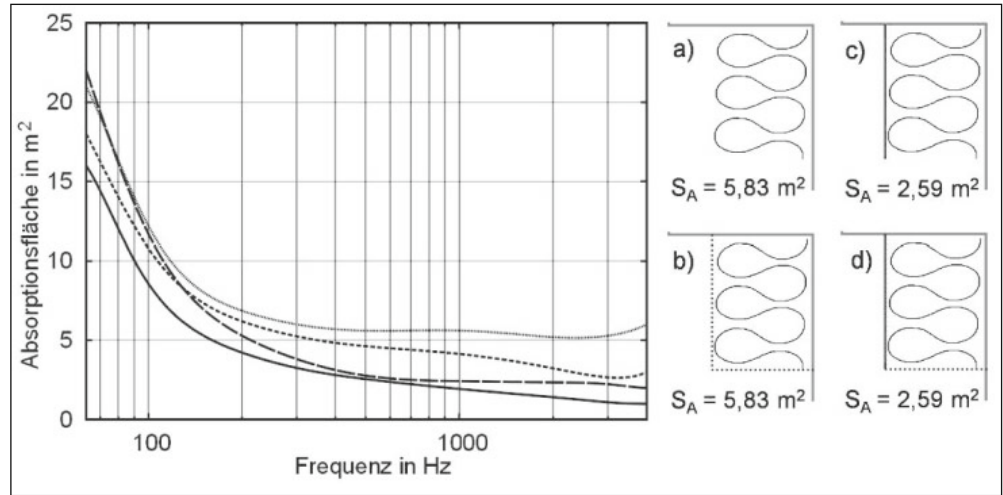
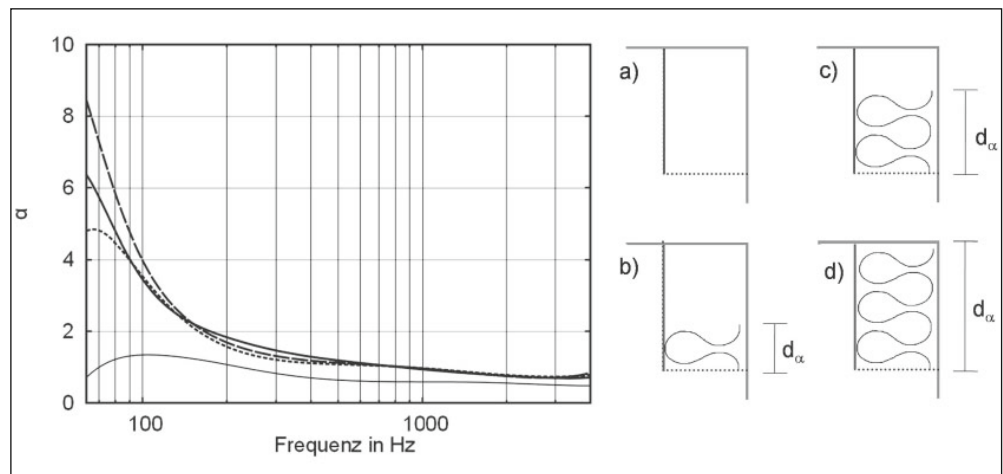


Bild 7.

Gemittelter Absorptionsgrad eines Kanten-Absorbers gemäß Bild 4a mit unterschiedlich dicker Mineralwolle-Füllung (d_α), jeweils bezogen auf $S_A = 2,59 m^2$. a) 0 mm (durchgezogen); b) 160 (punktirt); c) 320 (strichliert); d) 500 (fett durchgezogen).



stand zum Einsatz bringt. Auch in dieser Hinsicht bringt die in Abschnitt 6 beschriebene Fortentwicklung der klassischen Kanten-Absorber wesentliche Vorteile. Eine Abdeckung der breiten Seite des Absorbers mit 9,5 mm dicken GK-Platten gemäß Bild 6c schmälert erwartungsgemäß die Dämpfung der mittleren und hohen Frequenzen; dagegen bleibt die Absorption bei den Tiefen praktisch unverändert, was auf Resonanzeffekte hindeuten könnte, die hier aber nicht weiter untersucht wurden. Für eine von den Einbauverhältnissen etwas unabhängige Auslegung empfiehlt sich etwa die Kurve d in Bild 6. Es sei aber betont, dass die übliche Abschätzung der Nachhallzeit nach Gl. (1) bei tiefen Frequenzen besonders stark vom jeweiligen Raum und seiner Einrichtung abhängt.

Die Kurven in Bild 7 deuten darauf hin, dass die Stopfung dieser Absorber mit Dämpfungsmaterial keinen großen Einfluss auf ihre Wirkung nimmt. Es sieht so aus, als wenn eine nicht vollständige Füllung bei den tiefsten Frequenzen vielleicht sogar einen kleinen Vorteil bringen könnte.

In dieser Hinsicht und auch was die Ausführung der Rahmenkonstruktion betrifft müssen hier noch einige Fragen offen und die handwerkliche bzw. industrielle Realisierung einer weiteren Optimierung vorbehalten bleiben.

Man könnte meinen, dass es von großem Vorteil wäre, die Kanten-Absorber in drei Kanten des Raumes senk-

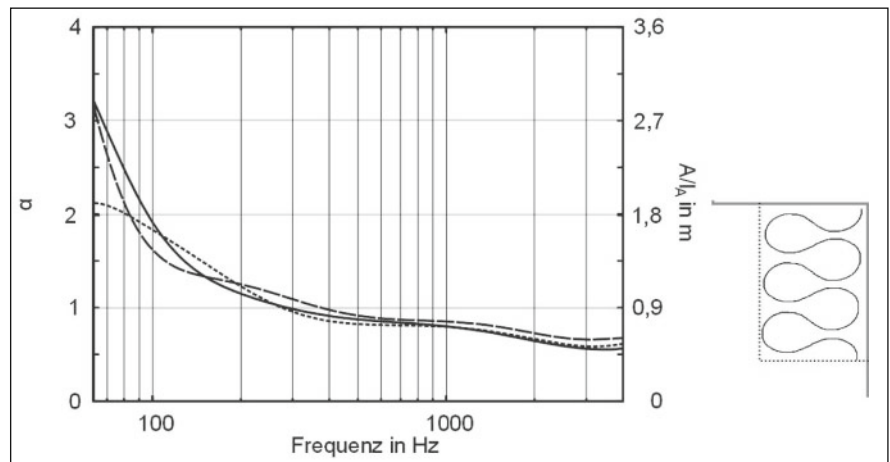


Bild 8. Gemittelter Absorptionsgrad (linke bzw. Absorptionsfläche pro m Kantenlänge (rechte Skala) von Kanten-Absorbern gemäß Bild 6b in drei Raumkanten senkrecht zueinander. a) eine Kante (Länge: 6,48 m; $S_A = 5,83 m^2$) (durchgezogen); b) zwei Kanten (Länge: 11,48 m; $S_A = 10,33 m^2$) (strichliert); c) drei Kanten (Länge: 17,27 m; $S_A = 15,54 m^2$) (punktirt).

recht zueinander, also z. B. zwei friesartig unter der Decke und einen senkrecht darunter, zu installieren, um so alle Raum-Moden optimal zu erfassen. *Bild 8* zeigt aber, dass die auf die jeweilige Gesamtfläche oder -länge bezogene Absorption, selbst bei den tiefsten Frequenzen, sich bei diesen drei Absorberanordnungen nicht wesentlich unterscheidet.

6. Innovative Breitband-Absorber mit attraktiven Eigenschaften

Schon aus dem oben Dargestellten lassen sich einige Vorzüge dieser Absorber-Technologie festhalten:

- Ihre hohe Wirksamkeit im gesamten interessierenden Frequenzbereich, besonders aber bei den Tiefen, unterstützt die Verständlichkeit von Sprache und die Klarheit von Musik und kann so den von den Nutzern selbst erzeugten Schallpegel senken und die akustische Behaglichkeit des Raumes generell anheben.
- Die Absorber nehmen ein minimales Volumen in einem Raumbereich in Anspruch, der in der Regel für keinen anderen Zweck genutzt wird und keiner anderen Installation im Wege ist, weil jene in ihrem Inneren „versteckt“ werden können, s. *Bild 9*. Zu den Kanten hin halten üblicherweise die im Beton verlegten Rohre von „Kühldecken“ einen gewissen Abstand, so dass die Kanten-Absorber, auch bei Deckenmontage, den Wärmetransport nicht behindern.

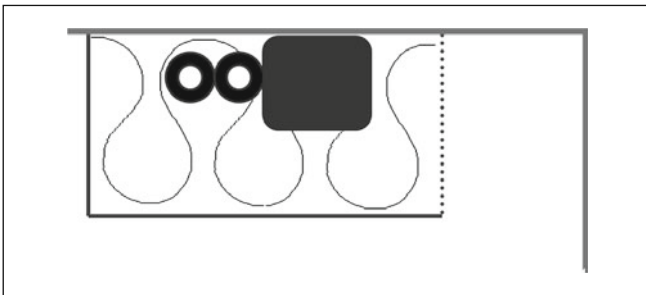


Bild 9. Der Kanten-Absorber als multifunktionelles Bauelement, in dessen zumindest teilweise mit Mineralwolle gefülltem Hohlraum alle möglichen Installationen untergebracht und geführt werden können.

- Sowohl die geschlossenen als auch die Lochplatten können am einfachsten vor Ort aus Gipskarton, aber ebenso auch aus Holz, Metall oder Kunststoff gefertigt, u. U. auch vorgefertigt werden. Im Gegensatz zu vielen Akustik-Paneelen und -Putzen lassen sie sich leicht reinigen und bei einer Renovierung einfach überstreichen, ohne dass ihre Wirksamkeit darunter leidet.

Deswegen ist es eigentlich erstaunlich, dass Kanten-Absorber nicht längst massenweise in Räumen der *Tabelle 1* eingebaut werden. Nachdem ganzflächig angebrachte „Akustik-Decken“ aus den oben genannten Gründen an Attraktivität verloren haben, bieten sich derartige Kanten-Anordnungen an, um mit einem Bruchteil der Fläche eine viel stärkere Wirkung, insbesondere bei den so wichtigen tiefen Frequenzen, zu erzielen.

In einem laufenden Forschungsprojekt der FSA und der BGN [4] geht es u. a. um die Entwicklung von Schallabsorbern für höchste hygienische Anforderungen in den Produktionsstätten der Nahrungsmittelindustrie sowie in Großküchen. In jedem Falle muss hier eine Verschmutzung des faserigen/porösen Dämpfungsmaterials im Absorber verhindert werden. Das geschieht z. B., indem man den wie auch immer gestalteten Absorber rundum hermetisch und dauerhaft mit einer Metall- oder Kunststoff-Folie umhüllt, die den jeweiligen Anforderungen des Betriebes genügt. Das muss allerdings so geschehen, dass die Folie weder auf dem Dämpfungsmaterial noch auf dessen perforierter Abdeckung anliegt. Selbst wenn dies konstruktiv entsprechend gelöst wird, reduziert solch eine Verkleidung grundsätzlich die Wirksamkeit des Absorbers. Abhängig vom Flächengewicht m'' in kg/m^2 der Abdeckung, bleibt diese oberhalb einer Frequenz f_o in Hz,

$$f_o \approx \frac{90}{m''}, \quad (4)$$

mit wachsender Frequenz immer mehr hinter derjenigen des unverkleideten Absorbers zurück. *Bild 10* zeigt diesen Abfall bereits oberhalb 200 Hz für die schwerste Abdeckung, Edelstahl mit 390 g/m^2 . Aber auch noch viel dünnere Edelstahl-Folien als in *Bild 10* können bei sorgfältiger Montage diese Schutzfunktion erfüllen, ohne die Absorption bei den oft dominanten Frequenzanteilen um 1 kHz in Werkhallen wesentlich zu mindern, weil man

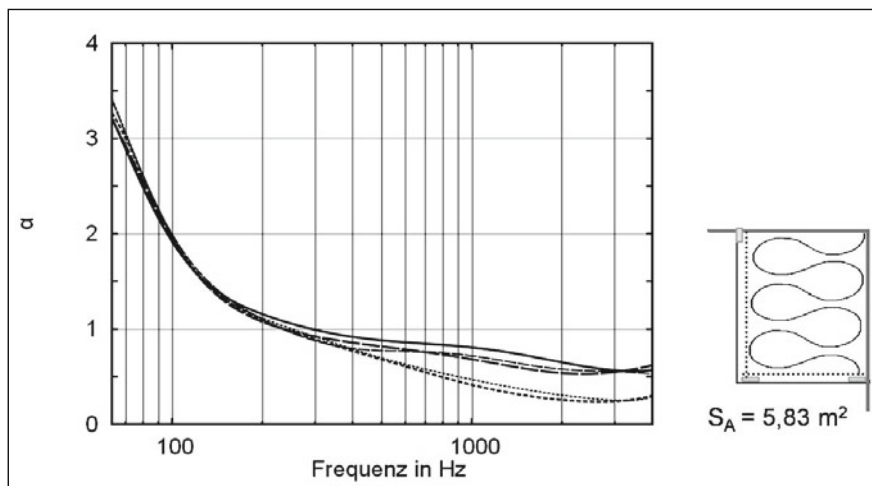


Bild 10. Einfluss einer Folienabdeckung auf den gemittelten Absorptionsgrad eines Kanten-Absorbers gemäß *Bild 6b*.

- ohne Abdeckung (durchgezogen);
- 30 μm Aluminium ($m'' = 81 \text{ g/m}^2$; $f_o = 1111 \text{ Hz}$) (weit strichliert);
- 50 μm Aluminium ($m'' = 135 \text{ g/m}^2$; $f_o = 666 \text{ Hz}$) (eng strichliert);
- 38 μm Edelstahl ($m'' = 296 \text{ g/m}^2$; $f_o = 304 \text{ Hz}$) (weit punktiert);
- 50 μm Edelstahl ($m'' = 390 \text{ g/m}^2$; $f_o = 230 \text{ Hz}$) (eng punktiert).

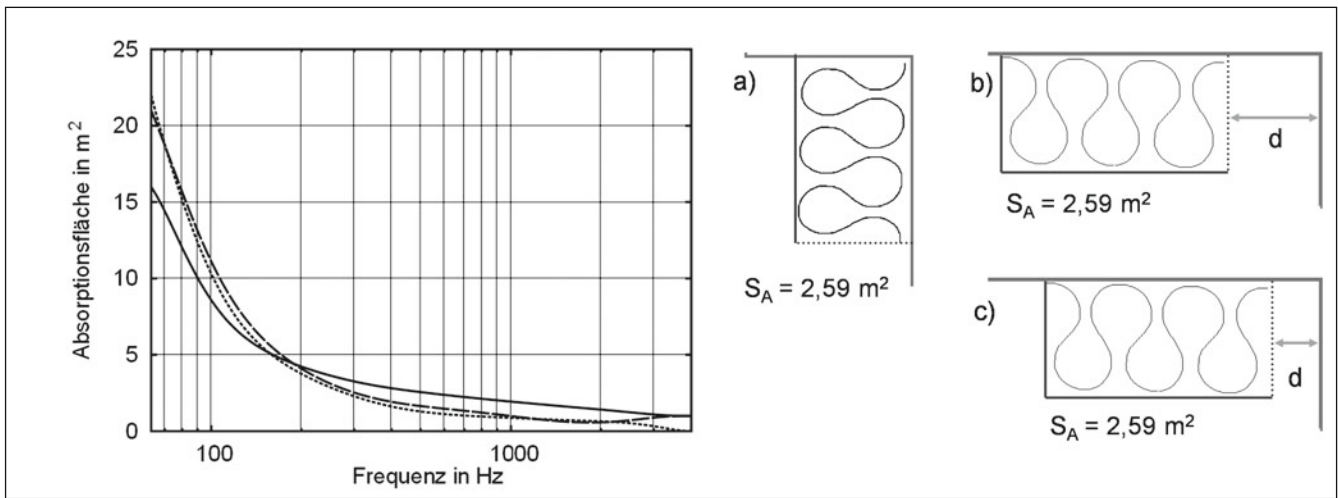


Bild 11. Äquivalente Absorptionsfläche eines Kanten-Absorbers ähnlich demjenigen in *Bild 6d*, aber mit seiner Öffnung zu einer Wand oder Decke gewandt. a) wie in *Bild 6d* (durchgezogen); b) $d = 200$ mm (strichliert); c) $d = 100$ mm (punktirt).

ihnen ja mit stabilen Lochplatten einen sicheren mechanischen Schutz geben kann. Wenn andererseits, z. B. in einem voll besetzten Musiksaal, die Höhen bereits durch die Belegung oder die Möblierung stark bedämpft sind, kann man den Nachhall des Raumes durch eine entsprechende Wahl der Abdeckung gezielt abstimmen.

Bild 4 zeigt, dass man, mit einem gewissen Absorptionsverlust, statt der schmalen auch die breite Seite des Absorbers mit einer für Schall undurchlässigen Platte abdecken kann. Ein Vergleich der Messkurven c und d in *Bild 6* macht aber auch deutlich, dass man die den Schalleintritt erlaubende Seite möglichst widerstandsfrei und offen gestalten sollte. Die letzte Forderung lässt sich am besten erfüllen, wenn man die absorbierende Fläche nicht so, wie allgemein üblich, dem Raum zugewandt und deshalb schutzbedürftig baut, sondern dem Raum ab- und stattdessen einer Wand oder Decke zuwendet. Ein solcher Ansatz widerspricht allerdings zunächst allen tradierten Vorstellungen beim Einsatz von porösen/faserigen Absorbieren für den Schallschutz und akustischen Komfort in Räumen der *Tabelle 1*.

Einen zweiten wichtigen Schritt zur Fortentwicklung der prinzipiell bekannten Kanten-Absorber stellt deshalb *Bild 11* dar: Überraschenderweise verliert der hier schalltechnisch optimierte Kanten-Absorber gemäß *Bild 6d* kaum seine Wirksamkeit bei tiefen Frequenzen, wenn man diesen mit seiner Öffnung nahe zu einer Wand oder Decke anordnet, ihn also nach herkömmlicher Vorstellung eigentlich falsch herum einbaut. Die vom Raum her dann noch sichtbare Öffnungsfläche so kann so nicht nur viel kleiner als die Absorberoberfläche, sondern geradezu verschwindend klein gegenüber seiner äquivalenten Absorptionsfläche gewählt werden:

$$S_o \ll S_A \ll A. \tag{5}$$

Sowohl die Variante b als auch c in *Bild 11* übersteigen bei sehr tiefen Frequenzen die äquivalente Absorptionsfläche des zum Raum hin schmalseitig geöffneten konventionellen Kanten-Absorbers gemäß *Bild 11a*. Sie erreichen tieffrequent sogar die akustische Wirksamkeit der

zum Raum hin breitseitig geöffneten Variante gemäß *Bild 4b* und eröffnen so sehr vielfältige neue Problemlösungen für die akustische Konditionierung von Räumen der *Tabelle 1* und könnten diese Aufgabe vom Nutzer bzw. Mieter wieder zum Investor bzw. Vermieter zurück bringen, wohin sie eigentlich auch gehört. Ihre Vorteile liegen auf der Hand:

- Der nahe (400 bis 20 mm) bis an eine Wand oder Decke herangeführte, sozusagen gänzlich „umgestülpte“ Kanten-Absorber erscheint visuell nicht mehr als Schallabsorber, sondern eher wie ein „Unterzug“ aus schallhartem Material (z. B. Beton) oder „Koffer“ bzw. Verkleidung für Kabel und Kanäle (z. B. aus Gips, Blech, Holz oder Kunststoff).
- Insbesondere wenn die breitere Platte in *Bild 11* etwas über den Rand zur absorbierenden Fläche übersteht, lässt die dadurch gebildete „Schattenfuge“ den Spalt zwischen Absorber und Decke oder Wand als bewusst gestaltetes Designelement erscheinen.
- Da die absorbierende Fläche sehr nahe zu einer Decke oder Wand angeordnet ist, kann ihre Abdeckung weitgehend nach schalltechnischen Gesichtspunkten gestaltet werden. Vorzugsweise besteht diese aus einem vollständig schalldurchlässigen Material, z. B. einer Folie mit geringem Gewicht bzw. einem Faservlies mit niedrigem Strömungswiderstand.
- Der Absorber-Spalt zur Decke oder Wand bietet Sichtschutz für ebenfalls

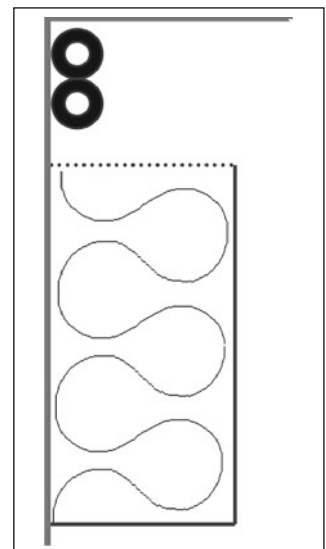
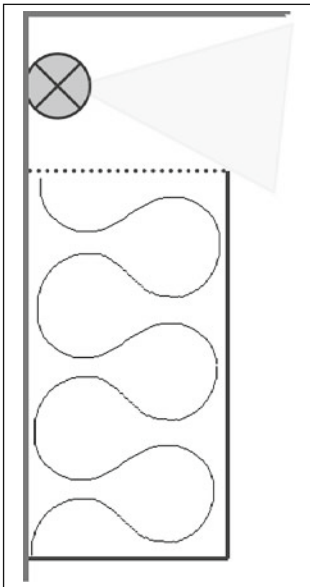


Bild 12. Prinzipskizze zur verdeckten Verlegung von Kabeln, Leitungen und Kanälen im Absorberspalt zur Decke oder Wand.



◀ **Bild 13.** Prinzipskizze zur verdeckten Verlegung von Leuchten im Absorberspalt zur Decke oder Wand.

Bild 15. Der Kanten-Absorber als Sitzbank in einer unteren Raumkante.

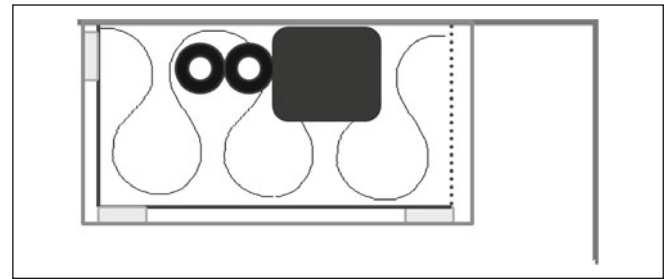
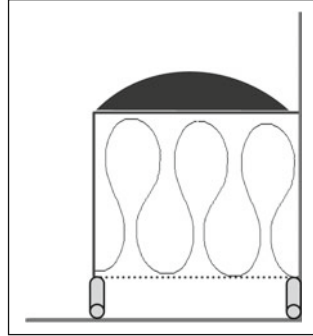


Bild 14. Der Kanten-Absorber als multifunktionelles Bauelement mit rundum glatter, auch hygienisch unbedenklicher Oberfläche.

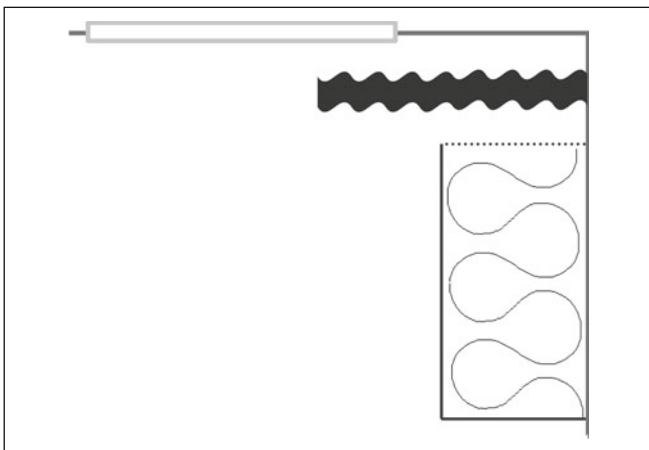


Bild 16. Der Kanten-Absorber in einer senkrechten Raumkante vor einer Fensterwand, in dessen Absorber-Spalt ein Vorhang oder Vertikal-Lamellen verstaut werden können.

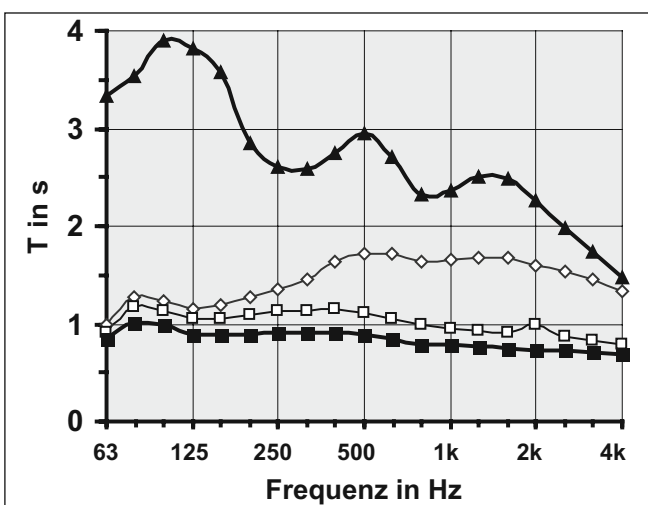


Bild 17. Nachhallzeit in zwei etwa baugleichen Schulungsräumen ohne (▲) bzw. mit Kanten-Absorbern nach *Bild 18*; unbesetzt (◇) bzw. abgeschätzt mit 25 Nutzern (□) und zusätzlich mit Arbeitsutensilien etc. (■).

bevorzugt in Raumkanten offen zu verlegende diverse Kabel, Leitungen und Kanäle, wie in *Bild 12* angedeutet.

- Im Absorber-Spalt lassen sich Leuchten und Lichtbänder für jede Art indirekter Beleuchtungstechnik optisch sehr attraktiv unterbringen (*Bild 13*).
- Obgleich die Einbauten im Absorber-Spalt den Blicken der Nutzer verborgen sind, bleiben sie für jedwede Revisionen, Reparaturen und Änderungen durch Handwerker leicht zugänglich.
- Dieser Absorber wird leicht zu einem äußerst robusten multifunktionalen Bauelement, in dessen vorzugsweise mit Mineralwolle gefülltem Hohlraum alle möglichen Installationen untergebracht und gegebenenfalls schallisoliert geführt werden können (*Bild 9*).
- An jeder seiner drei Oberflächen können Öffnungen für den Lufteintritt bzw. -austritt in bzw. aus Lüftungskanälen angebracht werden.
- Seine rundum glatten Oberflächen machen den neuartigen Absorber besonders geeignet als hygienisch qualifiziertes Bauteil, wenn man diesen als Ganzes oder in Teilen mit einer dünnen, resistenten Folie z. B. aus Edelstahl umhüllt (*Bild 14*).
- Er kann kostengünstig vor Ort in Trockenbauweise installiert, aber auch komplett oder in Einzelteilen beim Hersteller vorgefertigt werden.
- Die robusten Seitenwände der umgestülpten Kanten-Absorber können als Sitzbänke ausgebildet werden (*Bild 15*).
- Wenn der neuartige Schallabsorber senkrecht vor einer Fensterwand installiert wird, kann er einen Stauraum für einen Vorhang oder für Vertikal-Lamellen als Sicht- und Sonnenschutz fungieren (*Bild 16*).

7. Ein Sanierungsbeispiel

Von der Hochschule für Medien und Kommunikation wurden sechs mittelgroße Räume für Unterricht und Seminare, als Bibliothek und Cafeteria in einem für diese und andere Nutzungen komplett restaurierten historischen Gebäudekomplex einer ehemaligen Druckerei in Berlin-Kreuzberg angemietet. Das schöne Erscheinungsbild der sehr massiv umschlossenen Räume mit einer imposanten Höhe von ca. 3,8 m wird durch eine Vielzahl gewaltiger Beton-Unterzüge (0,4 m tief unter der Betondecke) geprägt. Nach kurzem Unterrichtsbetrieb zwangen

aber die Klagen von Studenten und Dozenten gleichermaßen zu einer umgehenden Nachrüstung – natürlich, wie fast immer in solchen Fällen, am besten sozusagen im Handumdrehen und mit möglichst niedrigen Kosten!

Die Nachhallzeit in den Schulungsräumen stieg zunächst, ganz typisch für solche baulichen Situationen, von 1,5 s bei 4 kHz bis auf 4 s bei 100 Hz an, s. *Bild 17*. Eine vom Investor und Vermieter dieser Immobilie zunächst geplante „Akustikdecke“ hätte nicht zu der für diesen Zweck bei einer Raumgröße von ca. 300 m³ zu empfehlenden Nachhallzeit von 1 s, möglichst konstant bis 63 Hz herunter, geführt. Allenfalls eine ca. 1 m breite Hinterfüllung mit einer mindestens 80 mm dicken Dämpfungsschicht im Deckenhohlraum hinter einer akustisch hinreichend absorbierenden bzw. transparenten Mineralfaser-Unterdecke, wie sie in [15] beschrieben wird, hätte den Anforderungen vielleicht genügt. Gegen eine derart aufwändige Nachrüstung sprachen aber sowohl die durchaus ansprechende Architektur einer alten Fabrikhalle als auch der enge Kosten- und Zeitplan.

Die Unterzüge gaben schließlich das Design-Motiv ab für 400 mm tiefe Kanten-Absorber, die eine ganzflächig abgehängte Decke mit etlichen teuren Ausschnitten und Durchbrechungen für die hier schon fertig installierten Leuchten, Kabel und Kanäle ganz entbehrlich machen. Beginnend im ca. $10,7 \cdot 6,7 \cdot 3,8 = 272$ m³ großen Unterrichtsraum wurden diese auf einer Länge von ca. 25 m an den drei fensterlosen Wänden waagrecht unter der Decke sowie senkrecht in einer Raumkante, ca. 400–600 mm breit, jeweils den baulichen Gegebenheiten angepasst, eingebaut, s. *Bild 18*. Der von Gipskarton-Platten einerseits und Lochblech-Kassetten andererseits (rückseitig mit Faservlies als Rieselschutz) umschlossene Hohlraum der Kanten-Absorber wurde ganz mit Mineralwolle ausgefüllt.

Nach sorgfältiger Verspachtelung aller Wand- und Deckenanschlüsse sorgten Anstriche der Einbauten im gleichen Weiß der Wände und Decken dafür, dass diese Maßnahme den Nutzern nach einer kurzen Ferienpause optisch überhaupt nicht auffielen. Im Vergleich zur Nachhallzeit eines fast baugleichen Raumes mit 254 m³ ist in *Bild 17* eine gewaltige Absenkung insbesondere des tiefrequenten Nachhalls auf etwas über 1 s zu erkennen. Wenn man die Absorption durch etwa 25 Personen berücksichtigt und zusätzlich zu erwartende Dämpfung durch abgelegte Kleidung, Taschen und Arbeitsutensilien, die diese in den Raum hineinbringen, dann ergibt sich nach dieser Sanierungsmaßnahme eine frequenzunabhängige Nachhallzeit von konstant 1 s, wie sie für kommunikationsintensiv genutzte Räume dieser Größe schon fast als ideal anzusehen ist. Entsprechend zufrieden waren alle Nutzer und sofort wurden auch die anderen oben aufgeführten Räume mit derselben Technologie für den bestimmungsgemäßen Gebrauch nachgerüstet.



Bild 18. Waagrechte und senkrechte Kanten-Absorber aus Mineralwolle hinter Gipskarton und Lochblech (a) zur raumakustischen Sanierung von sechs Schulungsräumen der *Hochschule für Medien und Kommunikation* in Berlin-Kreuzberg (b).

8. Ausblick

Die hier sowie in [1, 19] zahlreich dokumentierten Bau- und Sanierungsprojekte belegen die Bedeutung der tiefen Frequenzen für die Lärminderung und Behaglichkeit in akustisch anspruchsvollen Räumen jeder Größe und für alle Nutzungsarten. Das entsprechende raumakustische Konzept ist mindestens 20 Jahre alt [20]; es steht aber in krassem Widerspruch zu den Empfehlungen in einigen Normen wie DIN 18041-2004 [10]. Gegen die unangemessene Beurteilung von Akustik-Bauteilen durch einen Einzelwert $\alpha_{n,s}$, der ihre Absorption vor allem bei 2000, 1000 und 500 Hz, weniger bei 250 Hz und darunter überhaupt nicht bewertet [21], rührt sich zwar mittlerweile etwas Widerstand selbst bei deren Herstellern, siehe z. B. [22]. Wie dort ausgeführt wird, sollte stattdessen auf das Spektrum der Absorption Bezug genommen werden, „wenn

- die Produkte in einer anspruchsvollen Umgebung eingesetzt werden und ein Akustikgutachten vorliegt,
- sich die Anwendung nicht auf den gesamten Bereich der Bezugskurve bezieht,
- Frequenzen unterhalb von 250 Hz von Bedeutung sind.“

Letzteres ist in Räumen nach *Tabelle 1* die Regel und kann kaum noch bestritten werden. Deshalb ist es auch unverständlich, wenn von Wissenschaftlern, die an vielen der z. B. in [1, 6, 19] dokumentierten Projekte mitgearbeitet haben, ein „notwendiges Schallabsorptionsspektrum“ kreiert wird, das trotzdem den Schwerpunkt scheinbar unbeirrt auf Frequenzen zwischen 500 und 1000 Hz legt, s. [23] (dort Abb. 7) – offenbar um einen nur in diesem Frequenzbereich wettbewerbsfähigen *Schlitz-Absorber* nach [24] zu propagieren.

Auch die hier vorgestellten Schallabsorber nutzen die Dämpfung von Luftschall durch Reibung in einer relativ dicken faserigen/porösen Schicht. Neu sind dabei ihre vorteilhafte Anordnung in den Kanten der Räume, ihre multifunktionelle Nutzung sowie ihre fast vollständige „Verpackung“ hinter stabilen, geschlossenen Bauplatten aus beliebigem Material. Sie werden, zusammen mit

neuen Initiativen insbesondere im Schulbaubereich, in Zukunft dafür sorgen, dass sich das etwas andere raumakustische Konzept, auch mit optimal darauf zugeschnittenen *Kanten-Absorbern* im neuen Design, schnell im Markt durchsetzen wird – Normen und Lehrmeinungen hin oder her! Das wäre, nach den Innovationen für akustische Messräume [25], ein weiteres Beispiel, wie man die funktionelle Raumakustik fundamental verbessern und gleichzeitig ein dauerhaft ansprechendes Outfit der Räume erhalten kann.

Literatur

- [1] *Fuchs, H.V.*: Schallabsorber und Schalldämpfer. Berlin: Springer, 2010.
- [2] *Fuchs, H.V.* und *Renz, J.*: Raumakustische Gestaltung offener Bürolandschaften. *Bauphysik* 28 (2006) H. 5, S. 305–320.
- [3] *Fuchs, H.V.*: Die neue EU-Richtlinie „Lärm“ und der Schallschutz für Musiker. *Lärmbekämpfung* 2 (2007) H. 6, S. 217–224.
- [4] *Berger, J.*; *Haaß, M.*; *Fuchs, H.V.* und *Rietschel, P.*: Ein Schallschutzkonzept für höchste hygienische Ansprüche. In: 36. Deutsche Jahrestagung für Akustik – DAGA 2010, S. 855–856.
- [5] *Fuchs, H.V.*: Weniger Lärm in Kommunikations- und Schulungsräumen. *Lärmbekämpfung* 1 (2006) H.2, S. 47–56.
- [6] *Fuchs, H.V.*; *Zha, X.* and *Drotleff, H.*: Relevance and treatment of the low-frequency domain for noise control and acoustic comfort in rooms. *ACUSTICA* 91 (2005) No. 5, p. 920–927.
- [7] *Everest, F.A.*: The master handbook of acoustics. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [8] *Fuchs, H.V.* und *Hunecke, J.*: Der Raum verdirbt die Übertragungsgüte. *Studio-Magazin* 16 (1993), S. 30–37.
- [9] *Fuchs, H.V.*: Neufassung von DIN 18041 – ein Weckruf für gute Raumakustik. *Bauphysik* 25 (2003) H. 6, S. 350–357.
- [10] DIN 18 041-2004: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen.
- [11] *Fuchs, H.V.*: Initiative für mehr Lärmschutz durch bessere Raumakustik. *Gesundheits-Ingenieur* 129 (2008) H. 3, S. 169–171.
- [12] *Fuchs, H.V.*: Ruhe bitte. *Deutsches Architektenblatt* 41 (2010), Ausgabe Ost, H. 5, S. 38–39.
- [13] *Usemann, K.W.*: Gedanken zum 130. Jahrgang 2009. *Gesundheits-Ingenieur* 130 (2009) H. 1, S. 1–2.
- [14] *Niermann, A.* und *Sprenger-Pieper, A.*: Akustik an der richtigen Stelle. *Trockenbau-Akustik* 26 (2009) H. 10, S. 22–26.
- [15] *Becker, B.*: An den Rändern die Tiefe geschluckt. *Trockenbau-Akustik*, 26 (2009) H. 11, S. 42–44.
- [16] *Fuchs, H.V.*: Akustische Transparenz: Auflösung eines Dilemmas in Kommunikationsräumen. *Gesundheits-Ingenieur* 126 (2005) H. 4, S. 206–214.
- [17] *Fuchs, H.V.*: Der Frequenzgang „macht“ die Musik. *Trockenbau-Akustik* 25 (2008) H. 3, S. 50–53.
- [18] *Burkowitz, P.K.* und *Fuchs, H.V.*: Das vernachlässigte Bass-Fundament – Zur Behandlung der tiefen Frequenzen beim Darbieten, Aufnehmen und Wiedergeben von Sprache und Musik. *Tonmeister-Informationen/VDT-Magazin*, H. 2 (2009), S. 35–41.
- [19] *Fuchs, H.V.*: Funktionelle Raumakustik – Die Nachhall-Charakteristik des Raumes als Basis für seine Nutzbarkeit. Teil 1: *Bauphysik* 33 (2011) H. 1, S. 3–14; Teil 2: H. 2, S. 77–86; Teil 3: H. 3, S. 127–137; Teil 4: H. 4, S. 195–206; Teil 5: H. 5, S. 261–273.
- [20] *Fuchs H.V.*; *Rambausek, N.* und *Teltschik, R.*: Raumakustische Verbesserung kleiner Räume bei tiefen Frequenzen. *Deutsches Architektenblatt* 23 (1991) H. 8, S. 1201–1207.
- [21] DIN EN ISO 11 654: 1997 Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden – Bewertung der Schallabsorption.
- [22] *Uygun, A.*: Fragwürdige Klassen. *Trockenbau-Akustik* 27 (2010) H. 10, S. 36–41.
- [23] *Drotleff, H.*; *Leistner, P.* und *Zhou, X.*: Licht, Luft und Akustik. *Trockenbau-Akustik* 27 (2010) H. 10, S. 66–69 und H. 12, S. 32–35.
- [24] *Leistner, P.* und *Fuchs, H.V.*: Schlitzförmige Schallabsorber. *Bauphysik* 23 (2002) H. 6, S. 333–337.
- [25] *Fuchs, H.V.*; *Zhou, H.*; *Zha, X.* und *Lecheler, A.*: Akustik-Prüfstände im innovativen Outfit. *Gesundheits-Ingenieur* 128 (2007) H. 2, S. 65–73.