

# Lärmbekämpfung in Bildungsstätten: Kanten-Absorber für besseres Verstehen und Lernen

Helmut V. Fuchs, Janna Lamprecht, Mannheim, und Zha Xueqin, Berlin

**Zusammenfassung** Das durch sprachliche oder musikalische Kommunikation in kleinen bis mittelgroßen Räumen hervorgerufene Lärmproblem wird manchmal unterschätzt und oft durch konventionelle Maßnahmen wie faserige abgehängte Decken und andere absorbierende flächige Verkleidungen nur unzureichend behandelt. Es ist auf einen Nachhall im Raum zurückzuführen, der mit dem tieffrequenten Schall schädlich interferiert. Das daraus resultierende „Dröhnen“ maskiert die hohen Frequenzen, beeinträchtigt die Verständlichkeit und Klarheit und lässt so den Schallpegel auf unzumutbare Werte ansteigen. Eine Problemlösung wird durch breitbandige Bass-Absorber möglich, die nur an einigen Raumkanten angebracht werden. Diese bedecken z. B. nur kleine Wandteile (entsprechend weniger als 20 % der Grundfläche des Raums), lassen also die Decke völlig frei für andere Installationen oder thermische Aktivierung. Das alternative raumakustische Konzept ermöglicht sehr wirkungsvolle und auch visuell attraktive Maßnahmen mit äußerst robusten Bauteilen, die minimale Kosten für Installation, Unterhalt und Renovierungen beanspruchen. Anwendungsbeispiele in Unterrichts-, Büro-, Besprechungs-, Speise- und Waschräumen demonstrieren die Wirksamkeit der passiven bzw. reaktiven Kanten-Absorber.

## Noise control in education facilities: Edge absorbers for better intelligibility and learning

**Summary** The noise problem, self-generated by lingual or musical communications in small to medium-sized tuition rooms, is sometimes underrated and often inadequately treated by conventional measures like fibrous or porous suspended ceilings and other absorbing surface linings. It originates from a room reverberation which blurs the low-frequency sound. This masks the high frequencies and reduces intelligibility and clarity, thus raising the overall sound to intolerable levels. A solution is provided by broadband bass absorber elements to be mounted only at a few edges of the room. These preferably cover always less than 20% of the ground surface along the walls and leave the ceiling completely untouched for other installations or energy-saving tasks. This novel concept and design enables acoustically efficient and visually attractive measures with robust closed surfaces requiring minimal investment, maintenance and renovation costs. Application examples of classrooms, cafeterias, seminars and offices prove the practicability of the passive or reactive edge absorbers.

**E**twa 20 % der Beschäftigten fühlen sich durch Lärm an ihrem Arbeitsplatz belastet. Aber 80% der Lehrer und Erzieher sind in ihren Räumlichkeiten, ähnlich wie Musiker und Sänger, Mittelungspegeln von bis zu 80 dB(A) und Spitzenpegeln über 100 dB(A), völlig ungeschützt, ausgesetzt. Eigentlich müssten sie gemäß der EU-Richtlinie Lärm 2003/10/EC persönlichen Gehörschutz tragen, was natürlich beiden Berufsgruppen praktisch unmöglich ist. Obwohl für Musiker in großer moderner Orchesterbesetzung gewisse Spitzenpegel berufsbedingt unvermeidbar sind,

sorgen doch inzwischen, wenigstens in Orchestergräben und Probesälen, spezielle schalldämpfende Maßnahmen vielerorts bereits für eine Linderung dieses berufsbedingten Problems [1]. Dagegen klagten Lehrer aller Stufen mehr denn je über Lärmbelastungen, Dialogstörungen und Kommunikationsdefizite, die wesentlich zu Frustrationen, Erschöpfungszuständen und Erkrankungen beitragen. Diese führen zu erheblicher Lernbehinderung und Unterrichtsausfällen, die angesichts der allseits beklagten Bildungsdefizite unverantwortlich sind. Dabei könnten in diesem Bereich relativ einfache und kostengünstige bauliche Maßnahmen das auch hier von den Nutzern selbst erzeugte Lärmproblem weitreichend und nachhaltig lösen und so das Verstehen und Kommunizieren untereinander verbessern.

Angeregt durch ein Editorial in dieser Zeitschrift [2], wurde in [3] einerseits auf die vielfältige Wechselwirkung aller Akteure mit dem jeweiligen Raum eingegangen und andererseits ein grundsätzlicher Lösungsweg aus dem verbreiteten raumakustischen Dilemma vorgeführt. Die darin auch bereits vorgestellten Ausführungsbeispiele (behutsame Restaurierung einer Fabrikhalle zu einem Schulungszentrum und Neubau einer Sporthalle) konnten aber offenbar nicht Schule machen, weil der Planungs- und Kostenaufwand für die schmalen Budgets insbesondere von Schulen und Kindertagesstätten viel zu hoch war. Dabei hat sich die Situation hier durch die Umwandlung von Halbtags- in Ganztagsunterricht mit einem zusätzlichen Bedarf an Speise- und Aufenthaltsräumen sowie die Schaffung neuer Betreuungsplätze für Kinder und Jugendliche noch weiter verschlimmert. Der Trend weg vom Frontal- hin zum Gruppenunterricht ist weiter fortgeschritten. Vor allem hat aber die Ausweitung der Ganztagsbetreuung die Lärmexposition der Schüler und Lehrer dramatisch verschärft: Am Nachmittag überwiegen freizeitorientierte Aktivitäten mit deutlich höheren Schallpegeln, und Kinder wie Lehrkräfte sind wochenlang ca. 20 Stunden länger der Lärmbelastung ausgesetzt.

Deswegen gab es jüngst einen neuen Hilferuf eines Schulpsychologen [4]. Der Autor schildert diese Misere im gesamten Bildungsbereich sehr treffend: „Bei Gruppenarbeitsformen ist die Kommunikation der Schüler untereinander nicht nur erwünscht, sondern erforderlich. Bei fünf Gruppen im Klassenraum sind Werte von 80 dB(A) und mehr kaum zu unterbinden ... Alle Befragungen von Schülern – gleich welcher Altersstufe – ergaben, dass sie den Lärm im Klassenraum als störend und lernbeeinträchtigend wahrnehmen – nur es sind immer „die anderen“, die selbst von den auffälligsten Schülern als Lärmverursacher genannt werden.“ Er stellt auch fest, „dass die Lehrkräfte oft erheblich zu der akustischen Belastung im Klassenraum beitragen.“

Hier sind, wie bei Musikern, tatsächlich (fast) alle Opfer und Täter zugleich und eine praktikable Problemlösung ist dringend notwendig. Die Forderung in [4] nach Verbesserung der Absorption einfacher Akustikdecken oberhalb 300 Hz (für Kinderstimmen), 250 Hz (für die Stimme der Lehrerin) bzw. 125 Hz (für die des Lehrers) ist zwar auch unter manchen Akustikern verbreitet: sie greift aber zu kurz, wie unten beschrieben wird.

### Starke akustische Phänomene

Betrachtet man die gemittelten Schallspektren von Sprache und Musik, könnte man vielleicht annehmen, dass man sich mit der raumakustischen Planung, sofern sie nur auf Pegelbegrenzungen abzielt, nur auf den Bereich mittlerer Frequenzen zu konzentrieren habe. Tatsächlich operieren alle konkreten Empfehlungen der DIN 18041 (dort Tabelle 5 z. B. „für Räume der Nutzungsart Unterricht“ oder Tabelle 6 z. B. für Speiseräume, Pausenhallen, Treppenhäuser und Flure) für die mit Schallabsorbern zu bekleidenden freien Decken- und Wandteilen (bis zum Zweifachen der Grundfläche!) ausschließlich mit einem bewerteten Absorptionsgrad  $\alpha_w$ , der nur den Bereich zwischen 500 und 2 000 Hz stark bewertet. Explizit formuliert Anmerkung 4 zur Tabelle 6: „Sind auf Grund der Nutzung tieffrequente Geräusche in den betrachteten Räumen nicht zu erwarten, so ist der Absorptionsgrad bei 250 Hz nur von untergeordneter Bedeutung (z. B. in Treppenhäusern, Fluren)“ – mit den leider gerade hier vielerorts anzutreffenden akustischen Missständen. Gegen diese naive Vorstellung von der Lärmentstehung in Räumen für jegliche kommunikative Nutzung wurde bereits in [5] heftig argumentiert.

### Störung durch Fremdgeräusche

Ebenso unzureichend ist es, die von außen eindringenden oder die im Raum erzeugten Fremdgeräusche mithilfe eines speech interference levels (siehe z. B. [6], dort Abschn. 11.2.7) beurteilen zu wollen. Was man auch immer mit einem solchen Parameter anfangen möchte: er kann im Hinblick auf die Phänomene „Eigenresonanzen des Raums“ und „Maskierung hoher durch tiefe Frequenzen“ nicht zielführend sein, wenn er lediglich die Pegelwerte bei den Oktaven 500 bis 4 000 Hz (linear gemittelt!) berücksichtigt, aber die tieferen Frequenzanteile in jedem Fall vernachlässigt. Nur für den seltenen Fall, dass wirklich keine tieffrequenten Geräusche dieses Lärmproblem dominieren, könnte man sich auch mit schalldämmenden und -dämpfenden Maßnahmen zurecht auf einen derart eingeschränkten Frequenzbereich konzentrieren. Im Bereich des technischen Schallschutzes käme allerdings niemand auf die Idee, lärmindernde Einbauten (etwa Schalldämpfer für Lüftungsanlagen) nur mit Einzahlangaben auszulegen. Die Ankündigung, dass eine neue ISO 717 endlich von den in der Bauakustik allgemein üblichen Bewertungskurven Abschied zu nehmen und den Frequenzbereich sogar bis 50 Hz auszudehnen im Begriff ist, stieß allerdings auf der DAGA 2012 bei manchen akustischen Beratern auf helles Entsetzen. Im Folgenden wird aber konsequent davon ausgegangen, dass die hier behandelten Eigengeräusche der Nutzer durch keine Fremdgeräusche beeinflusst werden.

### Cocktail-Party-Effekt

Von größeren Menschengruppen in reger Unterhaltung kennt man einerseits den oft stark anschwellenden Schallpegel. Andererseits ist ein gesundes binaurales Gehör in der Lage, bei entsprechender Konzentration aus einem Stimmengewirr eine einzelne Stimme „herauszuhören“. Wenn beide aus unterschiedlichen Richtungen beim Hörer ankommen, kann die auszublenkende „Störung“ im Pegel sogar bis 10 dB über dieser Stimme liegen [7]. Musikern ermöglicht dieser „Cocktail-Party-Effekt“ überhaupt erst ein gutes „Ensemblespiel“. Allerdings gelingt dieses Kunststück dem Hörsystem immer nur unter Freifeldbedingungen oder wenn der Raum mit seinen Schallrückwürfen nicht zu stark mit den nachfolgend besprochenen Phänomenen interferiert. Menschen mit auch nur einohrig eingeschränktem Hörvermögen haben diese Fähigkeit i. d. R. nicht, weswegen sie eine Party in einem akustisch schlecht konditionierten Raum i. Allg. am liebsten bald wieder verlassen, weil die Unterhaltung für sie zu anstrengend wird.

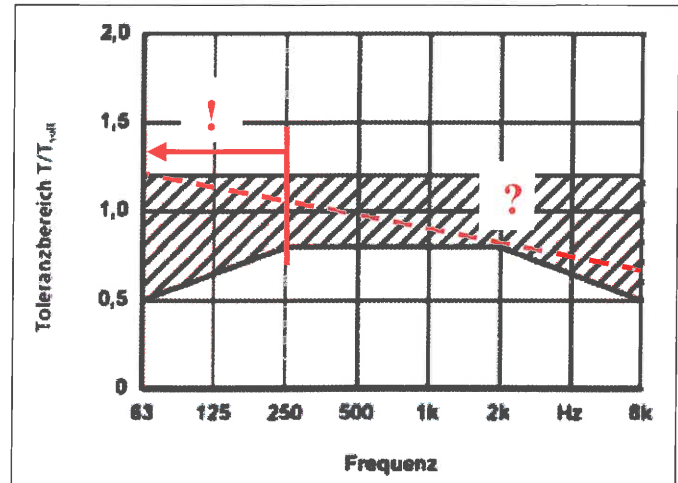


Bild 1 Toleranzbereich für die spektrale Verteilung der Nachhallzeit  $T/T_{\text{soll}}$  nach DIN 18041.

Kinder und Schüler mit sprach- oder krankheitsbedingter Einschränkung können in schlecht konditionierten Klassenzimmern ihrer Unterweisung natürlich nicht so einfach ausweichen, Erzieher und Lehrer ihren Aufgaben nicht pflichtgemäß nachkommen!

### Verwischung durch Nachhall

Die Nachhallzeit  $T$  in s als Funktion des Volumens  $V$  in  $\text{m}^3$  und der äquivalenten Absorptionsfläche  $A$  in  $\text{m}^2$  des Raums,

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

ist die in jeder Hinsicht wichtigste und am einfachsten zu messende sowie zu berechnende raumakustische Kenngröße. Es ist aber essenziell zu beachten, dass  $A$  und damit auch  $T$  immer sehr stark von der Frequenz abhängen. Dasselbe gilt auch für alle Einflüsse, die von der Nachhallzeit auf jede einzelne funktionell und ergonomisch relevante Eigenschaft eines Raums ausgehen – gleich welche Größe oder Bestimmung dieser haben mag.

Im allgemeinen Sprachgebrauch, aber auch in der Literatur und in Richtlinien wird aber vor allem mit einer nur zwischen 500 und 1 000 oder 2 000 Hz gemittelten Nachhallzeit  $T_{\text{soll}}$  argumentiert. Dieser setzt etwa die DIN 18041 z. B. für Unterricht mit

$$T_{\text{soll}} \leq 0,32 \lg V + 0,03 \quad (2)$$

(für den unbesetzten Raum) scheinbar sehr enge Grenzen: für  $V \approx 250 \text{ m}^3$  etwa  $T_m \approx 0,8 \text{ s}$ . Andererseits toleriert dieselbe Norm für das Spektrum  $T(f)/T_{\text{soll}}$  gemäß Bild 1 z. B. einen Anstieg von den hohen zu den tiefen Frequenzen um den Faktor 2, was im Hinblick auf die nachfolgend diskutierten Phänomene sehr kritisch zu beurteilen ist. Dagegen empfiehlt der Leitfaden [8], den Nachhall für Unterrichtsräume bis  $300 \text{ m}^3$  generell auf einen sehr ambitionierten Wert

$$T \approx 0,5 \pm 0,05 \text{ s} \quad (3)$$

zu begrenzen, aber ganz selbstverständlich „für den üblichen Hörfrequenzbereich, d. h. für die Oktavbänder von 63 Hz bis ca. 8 kHz.“

Am bekanntesten ist wohl das Phänomen, dass schnell aufeinanderfolgende Silben oder Töne miteinander verschmelzen

Verwischung von Schallsequenzen mit der Frequenz  $f_p$  durch ihren eigenen Nachhall  $T$ .

$f_p$ in $s^{-1}$	$\Delta t_p$ in ms	$\Delta L_T$ in dB				
		T in s	2,5	1,25	0,63	0,31
8	125		3	6	12	24
4	250		6	12	24	
2	500		12	24		
1	1000		24			

können, wenn der Raum eine hohe Nachhallzeit aufweist. Das kann u. U. für eine musikalische Darbietung wünschenswert sein; für die Sprachverständlichkeit in einer Unterhaltung wirkt dies aber immer nur destruktiv. Man kann dieses Phänomen auch quantitativ unterlegen: Selbst in einem optimal bedämpften mittelgroßen Klassenzimmer mit  $V \approx 200 \text{ m}^3$  und  $T \approx 0,5 \text{ s}$  beträgt der Hallabstand gemäß [6] (Abschn. 11.8) für eine einzelne ( $n = 1$ ) ungerichtet ( $\nu = 1$ ) mit einer Schallleistung  $P_1 = P$  abstrahlenden Quelle (z. B. einen Lehrer) nach

$$r_H = 0,057 \sqrt{\frac{\nu P_1 V}{n P T}} = 0,14 \sqrt{\frac{\nu P_1 A}{n P}} \quad (4)$$

kaum mehr als 1 m. Wenn dann noch mehrere Personen (z. B. Schüler) gleichzeitig jeweils mit  $P$  sprechen, muss der Lehrer seine Stimme schon stark anheben ( $P_1 \gg P$ ) und sich einem einzelnen Schüler direkt zuwenden ( $\nu \approx 3$ ), um den Nachhall des Raums zu übertönen. Will man aber weg vom direkten Frontalunterricht, so sind für  $\nu < 1$  und  $n > 1$  alle Beteiligten auf eine mindestens ausreichende Silbenverständlichkeit in mehr oder weniger homogenen „Hallfeld“ des Raums angewiesen, damit sie am Unterricht ohne besondere Anstrengung ihrer Stimmen teilnehmen können.

In einem solchen Normalfall kann in einer Sequenz von Silben oder Tönen der Nachhall der vorhergehenden die jeweils nachfolgenden verwischen. Im ungünstigsten Fall können beide miteinander verschmelzen, selbst wenn sie staccato-artig ausgesandt wurden. Wenn dagegen nur eine kurze Anregung pro s ausgesendet würde, wäre diese in jedem kleinen bis mittelgroßen Raum durch keinen noch so großen Nachhall zu verwischen: Für  $T = 2,5 \text{ s}$  wäre der Nachhall der ersten schon um die Pegeldifferenz  $\Delta L_T = 24 \text{ dB}$  abgeklungen, bevor die nächste (gleich laut angenommene) beim selben Hörer ankommt. Für eine immer noch langsame (musikalisch: etwa „andante“) Sprechweise mit einer Silbenfrequenz von  $f_p = 2 \text{ s}^{-1}$  entsprechend einer Periode  $\Delta t_p = 500 \text{ ms}$  trifft Ähnliches zu für  $T = 1,25 \text{ s}$  (s. **Tabelle**, Zeile 4 und 3). Für „normale“ Sprechweise mit  $f_p = 4 \text{ s}^{-1}$  bzw.  $\Delta t_p = 250 \text{ ms}$  kann aber der Nachhall bei  $T = 2,5 \text{ s}$  mit  $\Delta L_T = 6 \text{ dB}$  schon einen Verwischungseffekt verursachen, insbesondere wenn der nachfolgende Laut derselben oder einer anderen Quelle beim Hörer nicht mit demselben sondern mit einem etwas geringeren Schalldruckpegel wahrgenommen wird. Für schnellere Sprechweise mit  $f_p = 8 \text{ s}^{-1}$  bzw.  $\Delta t_p = 125 \text{ ms}$  führt ein Raum mit  $T = 2,5 \text{ s}$  auf jeden Fall zu Problemen mit der Sprachverständlichkeit; auch eine Nachhallzeit von mehr als einer Sekunde könnte gemäß diesem einfachen Modell kritisch werden. Nur für Werte unter 1 s darf man demnach eine einwandfreie Sprachverständlichkeit erwarten.

Nur wenn es darum geht, dass nur eine Stimme immer gut verstanden wird, kann man natürlich ihr Direktfeld ganz gezielt mit Hilfe elektroakustischer Hilfsmittel künstlich verstärken, wie man dies leider offenbar schon routinemäßig in fast jedem Fernsehstudio auch bei der kleinsten Talkshow tun zu müssen meint. An

dieser Stelle muss aber mit allem Nachdruck darauf hingewiesen werden, dass mit den Nachhallzeiten in der Tabelle nicht etwa  $T_{\text{soil}}$  gemeint sein kann, sondern im Hinblick auf nachstehende Phänomene das ganze Spektrum bis 63 Hz herunter, so wie es die Norm DIN 18041 (dort Bild 2) nur halbherzig andeutet, aber in [8] ganz konsequent empfohlen wird.

### Eigenresonanzen des Raums

Nicht nur die im Raum kreuz und quer vagabundierenden Vielfachreflexionen der Schallwellen können die Transparenz von Sprache und Musik beeinträchtigen. Selbst bei schneller Sprech- oder Spielweise können kleine bis mittelgroße Räume zwischen zwei Silben oder Tönen zwar jeweils als „eingeschwungen“ angenommen werden. Aber erst oberhalb einer Frequenz

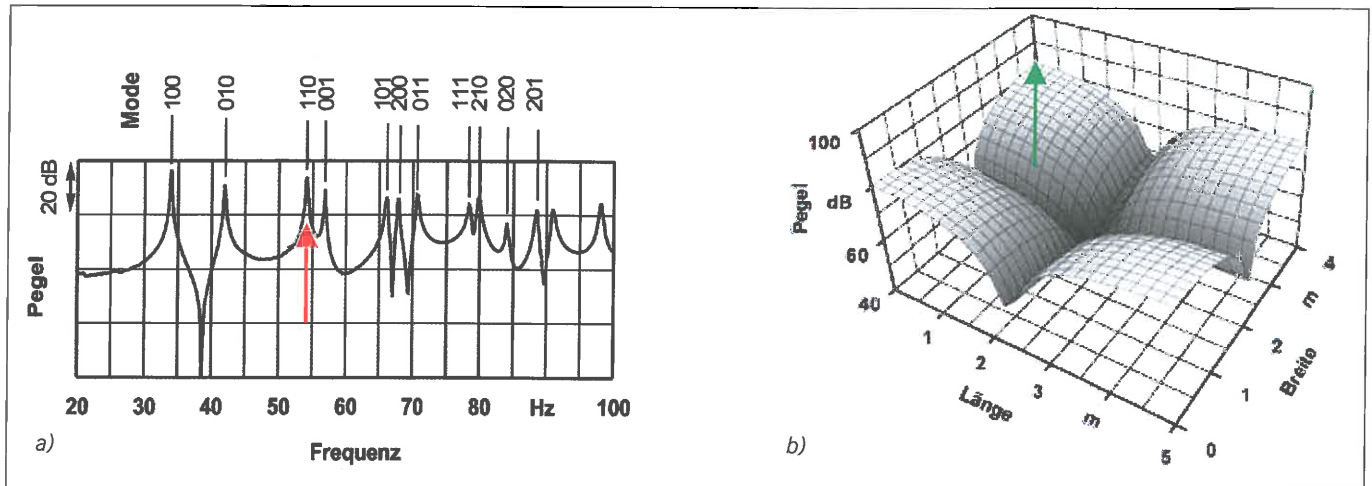
$$f_S = (2000 - 4000) \sqrt{\frac{T}{V}} \quad (5)$$

die mit dem kleineren Wert von *Kuttruff* und dem größeren von *Cremer* nach *Schröder* benannt ist, kann sich ein Schallfeld ausbilden, in dem die Energie annähernd gleichmäßig verteilt ist. Bei tieferen Frequenzen (für  $T \approx 1,5$  bis 3 s und  $V \approx 150$  bis 300  $\text{m}^3$ , z. B.  $f_S \approx 200$  bis 400 Hz) wird jeder Raum entsprechend seinen drei Abmessungen  $l_x, l_y, l_z$  durch Schall in seinen Eigenresonanzen

$$f_{n_x, n_y, n_z} = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2}; n_x, n_y, n_z = 0, 1, 2 \dots \quad (6)$$

mit der Schallgeschwindigkeit  $c_0$  diskret angeregt (siehe z. B. [6], Kap. 2). Diese „Moden“ werden energetisch von allen Verlautbarungen im Raum gespeist und als unartikulierter „Mulm“ bzw. unharmonisches „Dröhnen“ wahrgenommen. Wenn sie nicht breitbandig bedämpft werden, sind sie der Auslöser für das Phänomen der Maskierung hoher durch tiefe Frequenzen mit seiner verheerenden Auswirkung insbesondere für die Kommunikation bzw. das Ensemblespiel.

**Bild 2** illustriert beispielhaft, wie ein kleiner Raum den Schall auf seinem Weg zum Hörer verfälschen kann: Im Spektrum (a) treten bei tiefen Frequenzen Pegelunterschiede von weit über 20 dB auf. Aber auch räumlich verteilt sich die Schallenergie sehr ungleichmäßig (b). In den Ecken und Kanten können deshalb Schallabsorber ein Vielfaches von der Energie „schlucken“, die sie in der Fläche (an Decke und Wänden) oder gar frei im Raum aufgehängt (als Segel oder Baffles) absorbieren – natürlich immer unter der Voraussetzung, dass sie dazu schalltechnisch überhaupt in der Lage sind. Es ist übrigens eine verbreitete Illusion anzunehmen, man könnte die Modenausbildung verhindern oder auch nur schwächen, indem man die Wände schräg stellt bzw. strukturiert oder „Diffusoren“ frei in den Raum hängt (s. [6], Abschn. 11.15.9).



**Bild 2** Übertragungsfunktion (a) und Pegelverteilung (b) am Beispiel der Mode bei  $f_{1,1,0}$  in einem  $5 \times 4 \times 3$  m großen Raum in einer Ebene  $1,3$  m über dem schallharten Boden.

### Maskierung hoher durch tiefe Frequenzen

Die vorgenannten Phänomene sind eindeutig auf die bauliche Situation zurückzuführen und auch nur durch bauliche Maßnahmen zu beeinflussen. Wie der Cocktail-Party-Effekt ist auch ein weiteres Phänomen im menschlichen Hörsystem angelegt (siehe z. B. [6], Abschn. 11.4): Die zweifellos überragende Bedeutung der hohen relativ zu den tiefen Frequenzanteilen der Sprache suggeriert, oberflächlich betrachtet, dass man jegliche Störgeräusche bei hohen Frequenzen besonders zu bekämpfen habe, ihre tief-frequenten Komponenten dagegen vernachlässigen dürfe. Weil dies mit konventionellen Mitteln auch leichter zu bewerkstelligen ist, dominieren leider selbst in aufwendig gedämmten und bedämpften Räumen oft die tieferen Frequenzen. Dies kann aber sehr negative Konsequenzen wegen eines anderen Phänomens haben: Tiefe, auch ganz tiefe Frequenzen können hohe Frequenzen viel stärker verdecken als umgekehrt. Man versucht, diese starke Verdeckung hoher durch tiefe Frequenzen physiologisch dadurch zu erklären, dass die hohen die Basilarmembran nur unmittelbar am „Schneckeneingang“ anregen, die tiefen nach *v. Békésy* dagegen „Wanderwellen“ auslösen, die sich erst zur „Schneckenspitze“ hin aufsteilen und die Haarzellen anregen, aber auf ihrem Weg dorthin die gesamte Membran samt den für die höheren Frequenzen konditionierten Haarzellen mitbewegen und so deren Funktion beeinträchtigen. Der Mensch kann, anders als etwa Katzen, diese Eigenschaft seines Gehörs leider nicht abschalten. Sie macht deshalb in nicht oder falsch bedämpften Räumen den positiven Cocktail-Party-Effekt zunichte und leistet dem Lombard-Effekt reichlich Vorschub.

### Der Lombard-Effekt

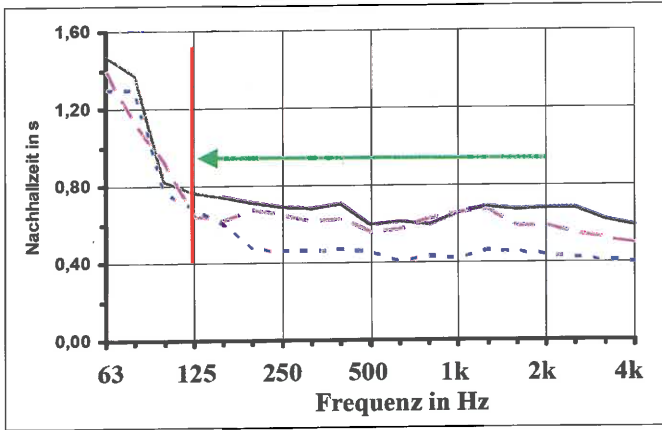
Nach Gl. (4) scheint es zwar so, dass in einem kaum bedämpften Raum mit der Anzahl  $n$  der sich gleichzeitig mit einer konstant angenommenen Schallleistung  $P$  artikulierenden Personen auch die von ihnen mitgebrachte Absorptionsfläche  $A$  ebenfalls proportional zunimmt und daher der Hallabstand für jeden einzelnen Sprecher ( $P_1$ ) unverändert bleibt. Die Erfahrung lehrt aber, dass man sein Gegenüber immer schlechter versteht, je mehr Personen sich z. B. zu einem Stehempfang versammeln oder in einem Schulungsraum kommunizieren wollen. Dies liegt daran, dass die Diskussionsteilnehmer Schalldämpfung leider nur für Frequenzen oberhalb etwa  $250$  Hz mitbringen. Verteilen sie sich gleichmäßig im Raum, entspricht ihre äquivalente Absorptionsfläche in etwa

derjenigen einer mittelmäßig dämpfenden, vollflächig angebrachten „Akustikdecke“. In unzähligen derart ausgestatteten Klassenzimmern muss man deshalb leider erleben, wie man sich nur versteht, wenn man sich seinem Gesprächspartner direkt zuwendet und nahe zu ihm herantritt. Eine Unterhaltung in einer größeren Gruppe bei etwas weiterer Entfernung ist unter diesen Umständen fast unmöglich.

So bleibt es in den meisten Fällen nicht bei dem eigentlich beabsichtigten entspannten Wortwechsel unter vielen. Weil sein Gesprächspartner ihn offensichtlich nur unter erheblicher Anstrengung versteht, hebt der Sprecher seine Stimme unwillkürlich etwas an. Wenn dies alle tun, steigt auch der mittlere Schallpegel im Raum an. Dadurch wird die Hörschwelle jedes Einzelnen entsprechend angehoben, was die Verständigung weiter verschlechtert. So setzt sich unweigerlich eine „Lautheitsspirale“ [3] in Gang, die so lange anschwillt, bis kaum einer noch sein eigenes Wort versteht – mit den allseits bekannten und beklagten katastrophalen Konsequenzen in so vielen Unterrichtsräumen. 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. Was hier für Sprache ausgeführt wurde, gilt natürlich auch für Musik, mit ganz ähnlichen negativen Folgen [1].

### Erzeugung akustischer Transparenz

Zwar gibt es Erziehungsmethoden, die das Lautwerden in jeglicher Unterhaltung unter allen Umständen zu vermeiden versuchen. Diese müssen aber, um erfolgreich zu sein, bereits im frühen Kindesalter in möglichst homogen zusammengesetzten Gruppen systematisch angewandt werden. Unter den in den meisten Bildungsstätten heute vorherrschenden Bedingungen mit äußerst heterogen zusammengesetzten und oft zu großen Gruppen von Schülern hat ihre Einübung kaum eine Erfolgschance. Hier kann die pragmatische Lösung des so offenkundigen Lärmproblems nur in einer den Gegebenheiten optimal angepassten raumakustischen Konditionierung der betreffenden Räumlichkeiten liegen. Dies muss heißen, dass zunächst und vor allem eine ausreichende Grunddämpfung für die tieferen Frequenzen eingebaut wird. Nur diese kann verhindern, dass jede Stimme, aber auch ein Murmeln, Räuspern und Husten sowie Hantieren mit Utensilien und Stuhlrücken den Raum in seinen Resonanzen anregt und so den akustischen Mulm erzeugt, der die Sprachverständlichkeit so folgenreich herabsetzt.



**Bild 3** Nachhall-Charakteristik eines Klassenzimmers mit konventioneller Akustikdecke nach [11], unbesetzt (liniert), besetzt (punktirt), unbesetzt, plus Akustikfries in den oberen Wandkanten (strichliert).

Wenn die damit erreichbare akustische Transparenz geschaffen wurde, entfällt der Zwang zum lauter als nötig Sprechen bzw. Musizieren, und der verbleibende Nachhall bei den höheren Frequenzen kann die Stimmen deutlicher machen bzw. in gewisser Weise „tragen“. Wenn man diesen Effekt bei bestimmten Nutzungen so nicht möchte, dann gelingt es z. B. mit bekannten „Bordmitteln“ [4] (dünnen porösen oder faserigen Schichten z. B. als Pinnwände und Dekoration) leicht und preiswert, die „Raumakustik“ nach dem jeweiligen Bedarf und Geschmack der Nutzer einzustellen. Die konkreten Ausführungsbeispiele aus verschiedenen Anwendungsfeldern (siehe unten) haben aber gezeigt, dass man es auch ganz ohne die von Architekten und Hygienikern meist nur widerwillig akzeptierten herkömmlichen Hilfsmittel schafft, die klar erkannten Anforderungen der Lehrer und Betreuer von Erwachsenen, Schülern und Kindern zu erfüllen.

**Schallabsorber in Ecken und Kanten**

Früher meinte man, den fast immer nur destruktiven Einfluss des Raums eliminieren zu können, indem man möglichst viel Absorption für Frequenzen oberhalb 500 oder 250 Hz einbaut. Diese dämpft zwar gerade die für die Sprachverständlichkeit so wichtigen Zisch- und Explosivlaute der Konsonanten (zwischen 1 und 8 kHz), lässt aber den Raum dumpf dröhnen, mit den zuvor beschriebenen Folgen. Eine zu den Tiefen hin kontinuierlich ansteigende Nachhall-Charakteristik, wie sie sehr typisch z. B. in [9] abgebildet wird, führt dazu, dass bei Untersuchungen in über 200 Klassenzimmern in über 50 Schulen [10] nur 17% bei 125 Hz den

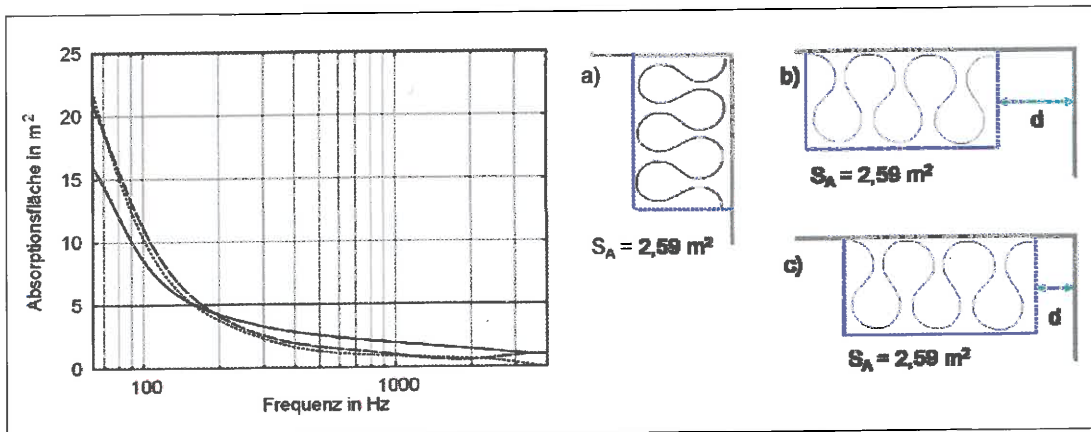
Sollwert nach Gl. (2) unterschreiten. Bei 1 kHz erfüllt immerhin fast die Hälfte, aber in der 63-Hz-Oktave wohl kein einziger Raum die Anforderung der Norm bzw. des Leitfadens [8]. **Bild 3** zeigt z. B., wie nach [11] die Nachhallzeit in einem Klassenzimmer mit  $V = 9,3 \times 6,9 \times 3,1 = 204 \text{ m}^3$  bis 125 Hz auf den Sollwert von 0,6 s nach DIN 18041 gesenkt werden kann, allerdings mit einer in der Schulpraxis kaum bezahlbaren Belegung von insgesamt  $S_A = 80 \text{ m}^2$ , nach [4] entsprechend etwa 4 000 €. Hier wurden zusätzliche Paneele aus 3 cm dicker Mineralwolle, 120 bzw. 80 cm breit an einer Stirn- bzw. Seitenwand tatsächlich schon „an der richtigen Stelle“, nämlich in den Raumkanten, angebracht. Sie können aber auch dort nicht die nötige Tiefen-Absorption bringen.

Becker [9] bemerkt etwas später selbst, dass nach dem Einbau konventioneller Akustikdecken „die Nachhallzeit gerade in den tiefen Frequenzen außerhalb des Toleranzfeldes liegt. Dies ist durchaus kritisch zu bewerten, da Räume mit zu hohen Nachhallzeiten im tiefen Frequenzbereich meist „brummig“ wirken“ [11]. Er versucht dann auch mit einigem Erfolg, diesem Problem mit einer zusätzlichen, immerhin 8 cm dicken und 1 m breiten Auflage im 20 cm tiefen Deckenhohlraum am Rand zur Rückwand sowie zu den Seitenwänden zu begegnen. Die Versuche in [11] und [12] weisen schon in die richtige Richtung, können aber die unterste Oktave bei 63 Hz nicht wirksam abdecken.

Auf diese Aufgabe viel besser zugeschnitten erscheinen die in [13] untersuchten Kanten-Absorber: Sie weisen bei einem Querschnitt von ca. 40 x 50 cm und einer Länge von 6,5 m zwischen 125 und 63 Hz eine äquivalente Absorptionsfläche von 7 bis 21  $\text{m}^2$  auf (**Bild 4**). Damit ließen sich im Beispiel von Bild 3 bei einer Länge < 10 m die Nachhallzeit unter 125 Hz halbieren und die Anforderungen der Leitlinien [8] bis 63 Hz erfüllen. In „verdeckter“ Bauweise können die Absorber, außerordentlich robust und pflegeleicht, auch diverse haustechnische Funktionen wie Beleuchtung und Lüftung integrieren und selbst in Möbeln integriert werden (**Bild 5**). So bleiben Betondecken thermisch aktivierbar und frei für Installationen und Dekorationen. Sie lassen sich leicht nachrüsten und bei einer Renovierung einfach mit überstreichen.

**Muster-Installationen mit Kanten-Absorbern**

In Radio-, Fernseh- und Produktionsstudios hat man sich seit Langem mit der Moden-Problematik auseinanderzusetzen gehabt und dagegen verschiedene Arten von „Bass Traps“ und „Corner Killers“ eingesetzt (siehe [14], Fig. 19-4). Da diese sich aber kaum in ein anspruchsvolles Design z. B. für Büro- oder Freizeiträume integrieren ließen, wurde zunächst nach schlankeren und breitbandiger wirksamen Kompaktabsorbern gesucht. Der Verbundplatten-



**Bild 4** Absorptions-Charakteristik von Kanten-Absorbern mit einer Länge von ca. 6,5 m nach [13]; (a) dem Raum zugewandt (liniert), (b) verdeckt mit  $d \approx 20 \text{ cm}$  (strichliert), (c)  $d \approx 10 \text{ cm}$  (punktirt).

Resonator VPR [15] wurde in verschiedenen Ausführungsvarianten mit mehreren Lizenzpartnern der Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) als optisch attraktiver und akustisch effizienter Tiefenschluckler rasch und erfolgreich im Markt etabliert [5; 6]. Für die große Masse der Unterrichts- und Betreuungsräume in öffentlichen Schulen und Tagesstätten hat sich aber auch der neuartige, etwas voluminösere Kanten-Absorber [13] als besonders flexible und preiswerte Alternative bereits bestens bewährt.

### Glasumschlossene Kantine

Große Umschließungen aus Glas können tiefe Frequenzen absorbieren bzw. aus dem Raum nach außen durchlassen. In größeren Flächräumen bleiben aber immer noch die vertikalen Moden übrig, die sich zwischen Decke und Boden ausbilden können, wenn diese keine Tiefen-Absorption ermöglichen. Schließlich sind die Moden umso störender, je weniger in einem Frequenzband anregbar sind. So wurde die 17 x 15 x 3,5 m große, dreiseitig von Glasfassaden umschlossene Werkskantine in **Bild 6** zwar mit einer abgehängten Unterdecke bestehend aus einer geschlitzten Holzschalung mit einer 40 mm dicken Mineralfaser-Auflage hübsch ausgestattet [16]. Sie sorgte auch dafür, dass die Nachhallzeit tatsächlich bis 125 Hz herunter innerhalb des Toleranzbereichs der DIN 18041 blieb. Ganz ähnlich wie schon im Beispiel von Bild 3, stieg diese darunter aber steil bis auf nahe 2 s bei 50 Hz an. Der von den Nutzern selbst bei den mittäglichen Mahlzeiten erzeugte Lärm war aber geradezu ohrenbetäubend, eine entspannte Unterhaltung mit Tischnachbarn unmöglich. Eine Rede des Präsidenten der FhG aus feierlichem Anlass verhallte so unverstanden – auch unter Zuhilfenahme elektroakustischer Verstärkung.

Dieses eindrucksvolle Erlebnis ermöglichte eine Sanierung sogar im eigenen Hause. Es wurden 1 m<sup>2</sup> große Verbundplatten-Module gemäß Bild 6 oben, kaum sichtbar hinter dem Holzraster, unmittelbar unter die Unterdecke geschraubt. Sie bedeckt so kaum mehr als 5 % der Grundfläche. Ihre Wirksamkeit wurde aber von allen Nutzern subjektiv sofort bestätigt, obgleich sie in diesem Falle objektiv (in der Nachhallzeit, s. Bild 6 unten) nur unter 200 Hz zum Ausdruck kommt. Letztere wird bei 63 Hz fast halbiert und bei 80 Hz von 1,2 auf unter 0,8 gesenkt. Bei Anwendung der üblichen Mess- und Prüftechnik, die nur bis 125 Hz herunter reicht, wäre der Unterschied vorher/nachher wohl kaum auffällig geworden. Wenn man aber den Mess- und Beurteilungsbereich bis 63 Hz herunter erst nimmt, wird der subjektiv wahrgenommene Unterschied durch die unscheinbare Maßnahme im Deckenbereich auch objektiv eindeutig nachweisbar und so die besondere Bedeutung der tiefen Frequenzen eindringlich demonstriert.

### Offene Bürolandschaft

Um ein besseres Verstehen von Sprache geht es auch an modernen IT-Arbeitsplätzen, insbesondere wenn diese in Großraumbüros effizient funktionieren müssen. Im Beispiel von **Bild 7** wurden konventionelle raumakustische Maßnahmen durch einige in den oberen Raumkanten angeordnete VPR-Module zur Grunddämpfung ergänzt, insgesamt zwölf Stück in den Abmessungen 1,5 x 1 x 0,1 m über einer Grundfläche von ca. 210 m<sup>2</sup>. In Verbindung mit einigen senkrecht aufgestellten großformatigen Breitband-Kompaktabsorbieren BKA [5; 6] ließ sich so die Nachhallzeit auf konstant niedrige Werte um 0,8 s senken.

### Seminar- und Konferenzraum

In der Fraunhofer-Zentrale werden viele Konferenz-, Besprechungs- und Schulungsräume attraktiv und zeitgemäß zweiseitig

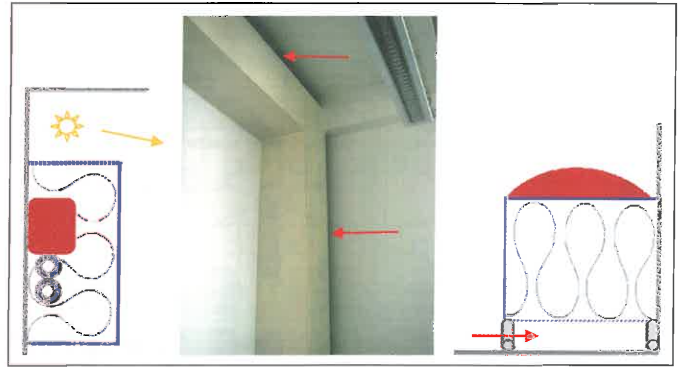


Bild 5 Ausführungsvarianten verdeckter multi-funktionaler Kanten-Absorber.

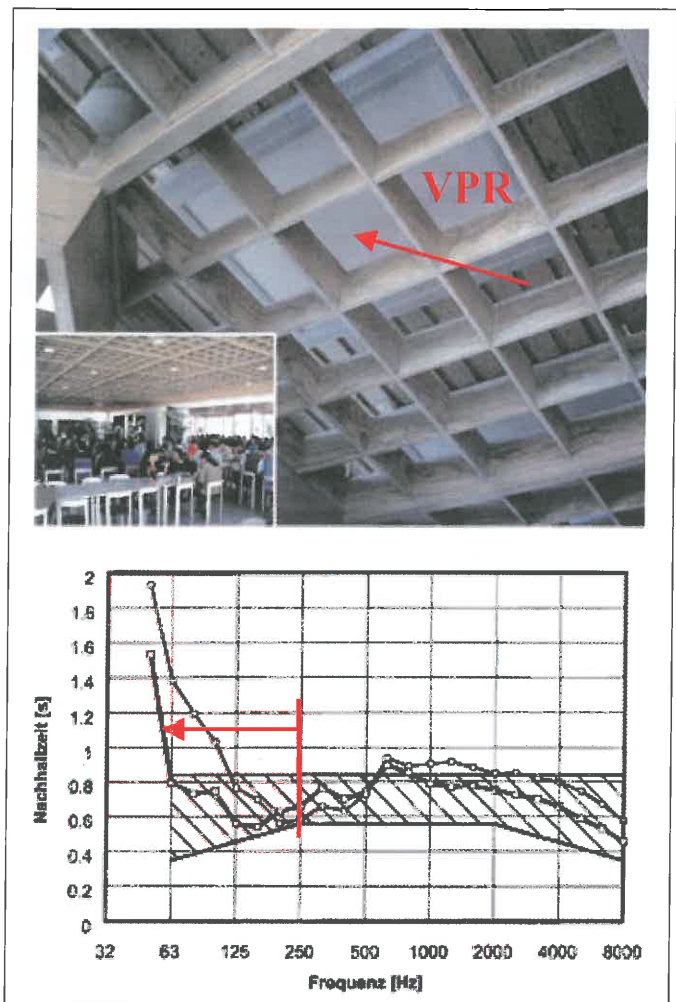
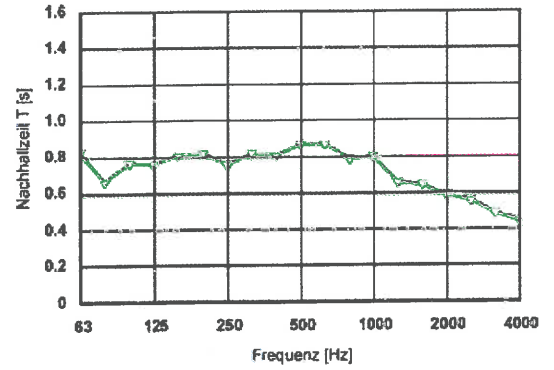
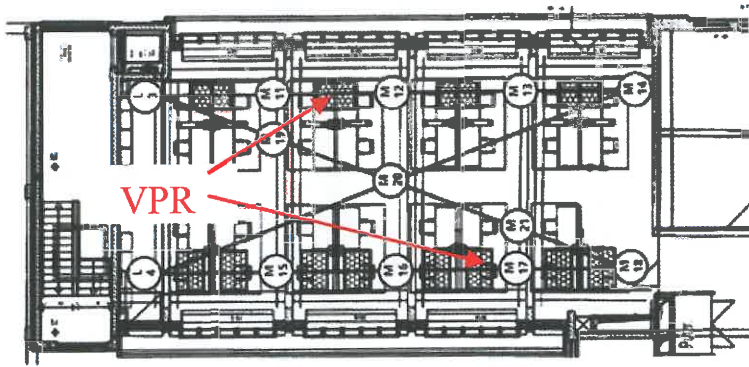


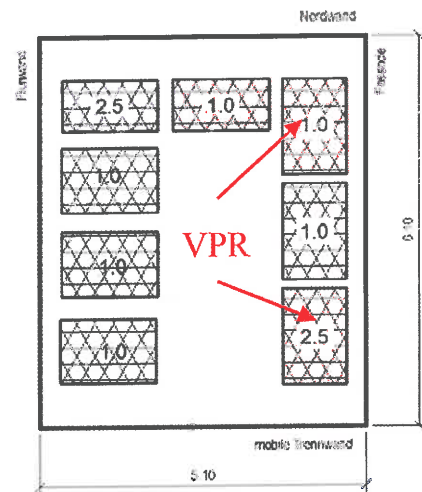
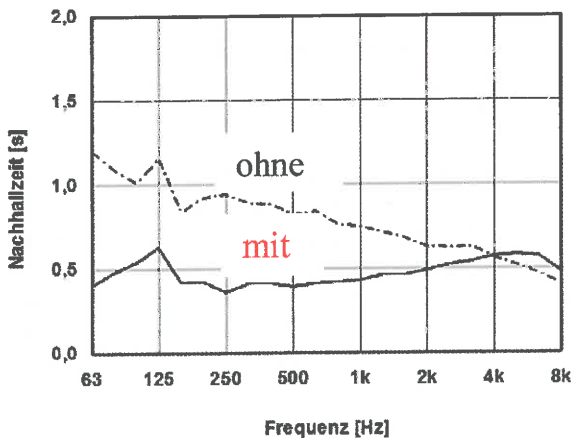
Bild 6 VPR-Module unter der Akustikdecke einer glasumschlossenen Kantine zur Verbesserung der Kommunikation [16]; Nachhallzeiten vorher (O) bzw. nachher (□).

von Glas (zu Fassade und Fluren hin) umschlossen, s. **Bild 8**. Typischerweise steigt so die Nachhallzeit zu den Tiefen hin kontinuierlich an mit der Folge, dass selbst ein einzelner Sprecher sich nur mit besonders guter Artikulation einem größeren Zuhörerkreis verständlich machen kann.

In diesem Fall wurden aus Kostengründen leider nur in einigen dieser intensiv kommunikativ genutzten Räume von Anfang an 10 cm dicke VPR-Module unter der Betondecke hinter einer akus-



**Bild 7** VPR-Module in den oberen Raumkanten und senkrechte BKA-Module ergänzen konventionell absorbierende Stellwände in einem Dienstleistungszentrum ( [6], Abschn. 11.15.4 e).



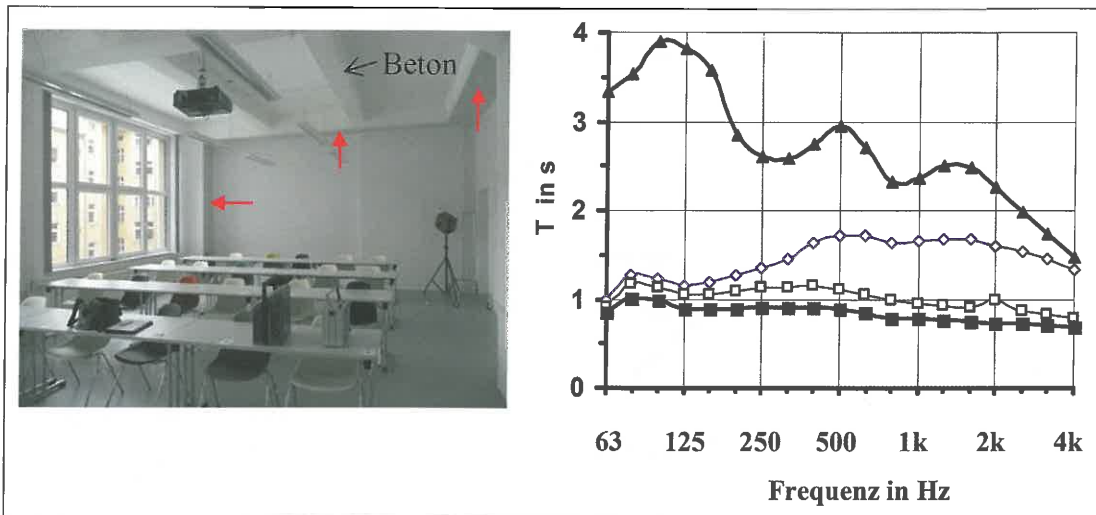
**Bild 8** Hinter einer akustisch transparenten abgehängten Decke können unterschiedlich abgestimmte VPR-Module die Nachhallzeit z. B. in Konferenzräumen optimieren.

tisch transparenten Schale eingebracht. Bild 8 unten rechts skizziert z. B. mit unterschiedlich (1 bis 2,5 mm) dicken Schwingblechen bestückte Resonatoren über einem Konferenzraum. Wenn dieser mit einem benachbarten, akustisch ähnlich konditionierten Besprechungsraum zu einem insgesamt ca. 168 m<sup>3</sup> großen Seminarraum vereint wird, der dann mit dem unbehandelten in Bild 8 links oben etwa baugleich ist, so weist der behandelte eine komfortable konstante Nachhallzeit von 0,5 s auf, die übrigens in etwa auch für jeden der beiden Teilräume einzeln gemessen wurde.

Auch im größeren Raum wird damit praktisch überall ein für jede Nutzung optimales Deutlichkeitsmaß  $C_{50}$  von 4 bis 2 dB breitbandig oberhalb 125 Hz für Abstände von 2 bis 8 m erreicht.

**Hörsaal einer Hochschule**

Alle Fachleute sind sich einig: „Moderne, differenzierte und nicht lehrerzentrierte Arbeitsformen (z.B. Partner-, Gruppen- oder Projektarbeitsphasen), wie sie von der aktuellen Pädagogik gefordert werden, erzeugen im Vergleich zum klassischen Frontalunterricht völlig veränderte



**Bild 9** Erste raumakustische Sanierung von Unterrichtsräumen in einer ehemaligen Fabrikhalle mit Kanten-Absorbern nach [13]; Nachhallzeit unbesetzt vorher (▲), nachher (◇), mit 25 Nutzern (□), plus Utensilien (■).

*Kommunikationsszenarien im Klassenraum. Der Lehrer tritt als Stoffvermittler, als Darsteller vorgegebener Wissensbestände zurück. Die Schüler sollen verstärkt selbst ausprobieren, abwägen, miteinander diskutieren. Der moderne Unterricht setzt damit auf gemeinschaftliches Lernen und lässt bewusst mehrere gleichzeitig sprechende Personen zu. Selbst bei einer guten Diskussionsdisziplin erzeugen solche Situationen jedoch naturgemäß tendenziell höhere Geräuschpegel ...“ [17].*

Was für Schulen angestrebt wird, gilt natürlich noch mehr für eine Hochschule für Medien und Kommunikation. Eine solche mietete sechs große 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. Das schöne Erscheinungsbild der sehr massiv umschlossenen Räume mit einer imposanten Höhe von ca. 3,8 m wird durch eine Vielzahl gewaltiger Betonunterzüge (40 cm tief unter der Betondecke) geprägt. Nach kurzem Unterrichtsbetrieb zwangen aber die Klagen von Studenten und Dozenten gleichermaßen zu einer umgehenden Nachrüstung.

Die Nachhallzeit in den Schulungsräumen stieg gemäß **Bild 9**, ganz typisch für solche baulichen Situationen, von 1,5 s bei 4 kHz bis auf 4 s bei 100 Hz an. Eine vom Investor und Vermieter dieser Immobilie optional angedachte Akustikdecke hätte nicht zu der für diesen Zweck bei einer Raumgröße von ca. 300 m<sup>3</sup> erforderlichen Nachhallzeit von 1 s, möglichst konstant bis 63 Hz herunter, geführt. Allenfalls eine sehr dicke ca. 0,5 m breite zusätzliche Dämpfungsschicht am Rand des Deckenhohlraums hinter einer akustisch hinreichend absorbierenden bzw. transparenten Mineralfaser-Unterdecke hätte den Anforderungen vielleicht genügt. Gegen eine derart aufwendige Nachrüstung sprachen aber sowohl die durchaus ansprechende und zu erhaltende Architektur einer alten Fabrikhalle als auch der enge Kosten- und Zeitplan.

Die Unterzüge gaben schließlich das Designmotiv für 40 cm tiefe Kanten-Absorber nach [13] ab, die eine ganzflächig abgehängte Decke mit etlichen teuren Ausschnitten und Durchbrechungen für Leuchten, Kabel und Kanäle entbehrlich machen. Beginnend im 272 m<sup>3</sup> 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. 40 bis 60 cm breit jeweils den baulichen Gegebenheiten angepasst, eingebaut. Die offene Fläche entspricht somit etwa 20% der Grundfläche des Raums. Der von Gipskartonplatten einerseits und Lochblechkassetten andererseits (rückseitig mit Faservlies als Rieselschutz) umschlossene Hohlraum der Kanten-Absorber wurde ganz mit Mineralwolle ausgefüllt.

Nach sorgfältiger Verspachtelung aller Wand- und Deckenanschlüsse sorgten zwei Anstriche der Einbauten im gleichen Weiß der Wände und Decken dafür, dass diese Maßnahme den Nutzern nach einer kurzen Ferienpause optisch überhaupt nicht auffiel. Im Vergleich zur Nachhallzeit eines fast baugleichen Raums mit 254 m<sup>3</sup> ist in **Bild 9** eine gewaltige Absenkung insbesondere des tieffrequenten 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 so eine frequenzunabhängige Nachhallzeit von konstant 1 s, wie sie für kommunikationsintensiv genutzte Räume dieser Größe schon fast als ideal anzusehen ist, wenn nur ein Anstieg zu den Tiefen vermieden wird. Entsprechend zufrieden waren alle Nutzer und sofort wurden auch die anderen Räume mit derselben Technologie baugleich nachgerüstet.

#### Waschräume einer Kindertagesstätte

Die meisten Räumlichkeiten eines 2005 neu eingerichteten SOS-Kinderdorfs in Berlin-Moabit wurden mit herkömmlichen raumakustischen Maßnahmen durchaus großzügig ausgestattet. Nur an die Flure und Treppenhäuser hatte man nicht gedacht. Vor allem stellten sich die vier Waschräume in der Kita als regelrechte akustische Brennpunkte heraus, wenn es darin mit einer Kinderschar z. B. an das Zähneputzen oder Händewaschen geht. Obgleich dabei eher die höheren Frequenzen die Anweisungen der Erzieher verdecken, konnten dank einer Stiftung „Räume schaffen für besseres Verstehen und Lernen“ auch hier einige Kanten-Absorber gemäß **Bild 10** für eine deutliche Lärminderung sorgen. Hier wurden gelochte GK-Platten zur unterseitigen Abdeckung des mit Mineralwolle gefüllten Hohlraums eingebaut. Da einer der vier baugleichen Räume aber unbehandelt blieb, lässt sich die Verbesserung gerade hier besonders gut demonstrieren. Wie überhaupt der Unterschied verschiedener Situationen für die Betroffenen unmittelbar, geradezu körperlich spürbar wird.

#### Mensa einer Gemeinschaftsschule

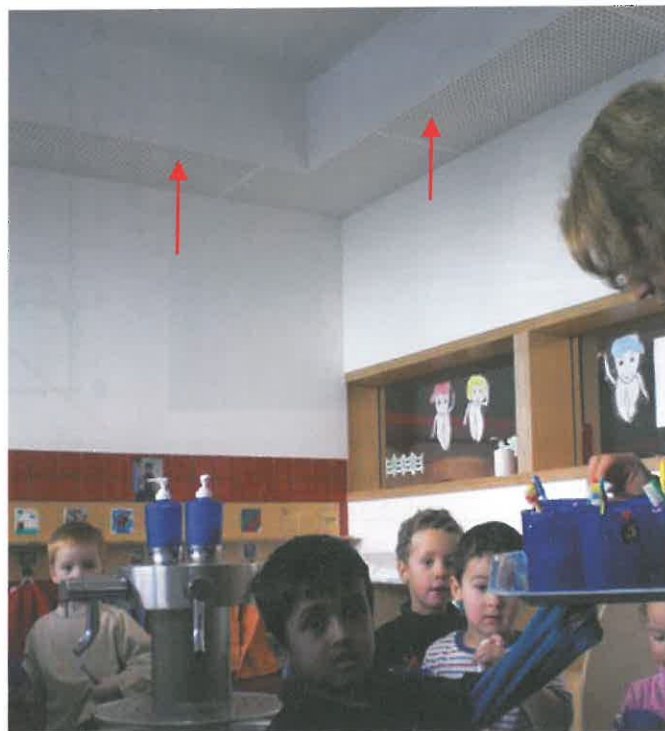
Eine von ihren Studenten finanzierte Hochschule muss schon aus Konkurrenzgründen in ihren Räumlichkeiten optimale akustische Bedingungen zum Lehren und Lernen bieten. Die Verantwortlichen wissen hier sofort, was zu tun ist, wenn schlechte Sprachverständlichkeit die Kommunikation und damit die Effizienz aller Anstrengungen ergonomisch erschwert. Im öffentlichen Bildungswesen meint man aber offenbar, akustische Defi-



zite durch fehlende, unzureichende oder veraltete bauliche Maßnahmen hinnehmen zu können. Beim Übergang vom Halbtags- zum Ganztagsbetrieb der Schulen müssen nun aber neue Räume geschaffen oder alte umgebaut werden, um z. B. Speiseräume einzurichten. Spätestens hier eskaliert dann das Problem selbst bei Schülern, die sich in den Klassenräumen vielleicht noch akustisch bändigen lassen. So werden z. B. nicht mehr genutzte Kellerräume zu hübschen Cafeterias umfunktioniert. Wenn diese Räume, wie z. B. in **Bild 11**, Gewölbe aufweisen, die zu besonders kritischen Schallkonzentrationen führen, wird den Lehrern sofort klar, dass ohne raumakustische Maßnahmen oder Tragen von Gehörschutz es eine entspannende Essenspause nicht geben kann. In diesem Fall war natürlich die Installation einer Akustikdecke unter den nur 2,6 bis 2,8 m hohen Gewölben völlig unmöglich. Ein Akustikputz oder andere dünne Dämpfungsschichten hätten das Problem ebenfalls nicht an der Wurzel, den mittleren und tiefen Frequenzen, packen können. Stattdessen kamen auch in diesem Raum mit einer Grundfläche von 208 m<sup>2</sup> Kanten-Absorber mit einer Bautiefe von ca. 40 cm auf einer Länge von insgesamt 27 m zum Einsatz; fünf davon waagrecht unter der Decke, einerseits in vier Gewölben und andererseits an einer Stirnwand, vier weitere senkrecht in den Raumkanten. Die Messungen und Abschätzungen für eine Belegung mit 30 Personen in Bild 11 zeigen zwar noch eine kleine Überhöhung um 250 Hz herum. Die Mensa führt aber nun zu keinen unnötig hohen Schallpegeln mehr.

### Musikraum im SOS-Kinderdorf

Von Musikräumen mit Schlagzeug oder Klavier geht häufig nicht nur eine Belastung für die darin beschäftigten Lehrer und Schüler, sondern auch eine Störung in benachbarten Räumen aus. In einer früheren Phase der Entwicklung kamen zur Linderung die-

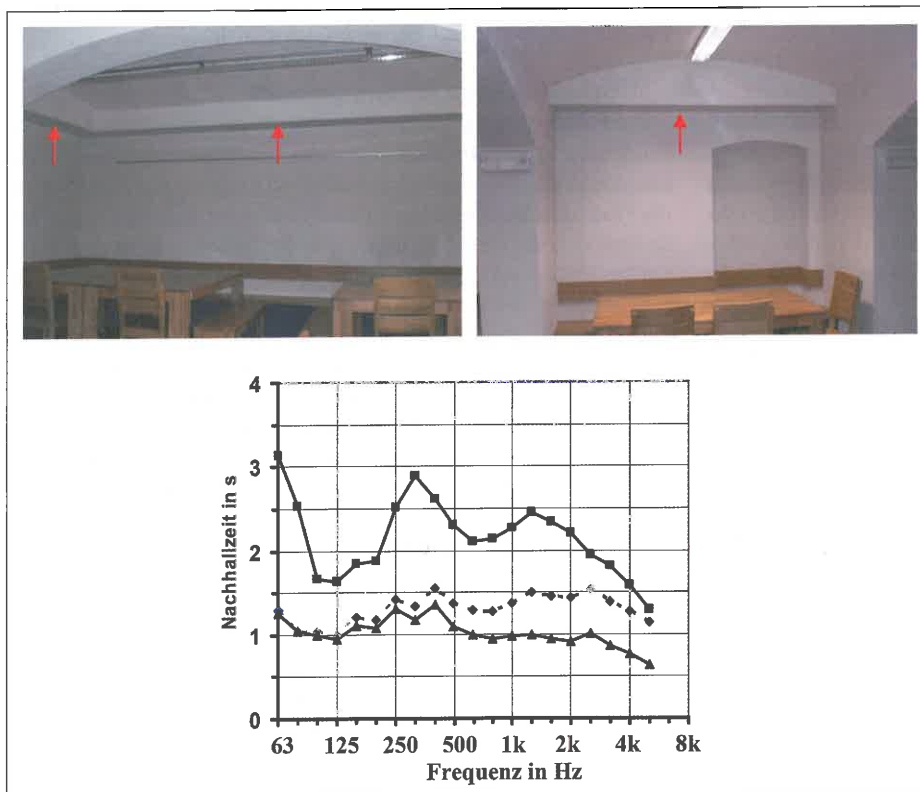


**Bild 10** Auch in rundum schallhart gefliesten Waschräumen können Kanten-Absorber die von Nutzern erzeugten Geräusche reduzieren.

ses Problems Membran-Absorber nach [6] zum Einsatz. Mit ihrer Effizienz bei den tiefen Frequenzen empfehlen sich heute die Kanten-Absorber auch aus Kostengründen. **Bild 12** zeigt eine solche Anwendung in nur zwei Kanten eines Spielraums, wiederum im SOS-Kinderdorf in Berlin-Moabit.

### Besprechungszimmer

Die Beispiele der glasumschlossenen Kantine und der offenen Bürolandschaft zeigen Anwendungen von breitbandig wirksamen Platten-Resonatoren als Kanten-Absorber in besonders schlanker, aber offen sichtbarer Bauweise unter schallharten Decken [5]. In [6] sind aber auch zahlreiche Installationen derselben in verdeckter Bauweise hinter akustisch transparenten Blenden ähnlich derjenigen im Beispiel Seminar- und Konferenzraum beschrieben. Bei den Muster-Installationen der Beispiele Hörsaal, Mensa und SOS-Kinderdorf wurden die voluminöseren Tiefenschlucker als Kanten-Absorber gezeigt, die ihre offene Fläche dem Raum in unterschiedlicher Weise zukehren. **Bild 13** zeigt abschließend beispielhaft, wie diese Absorber-Koffer, für den Betrachter eigentlich nicht mehr als solche erkennbar, wie ein kompakter Fries mit deutlichem Abstand zur Decke den Raumkanten folgen. In dieser Bauweise, die erstmals ebenfalls in der vorgenannten Hochschule ausgeführt wurde, könnten



**Bild 11** Kanten-Absorber reduzieren Schallkonzentrationen unter den Gewölben der Mensa einer Gemeinschaftsschule; Nachhallzeit unbesetzt vorher (■), nachher (---), mit 30 Nutzern (▲).



**Bild 12** Auch in kleinen Räumen kann man Platz für den einen oder anderen Kantenabsorber finden.

Kanten-Absorber sich nicht nur im kommerziellen, industriellen und kulturellen Bereich bewähren, sondern auch im privaten Sektor in Eigenheimen Anklang finden, überall dort, wo man sich auch bei karger Möblierung in größeren Gruppen entspannt unterhalten oder hochwertiger Musikdarbietung ohne den oft störenden Raumeinfluss lauschen möchte.

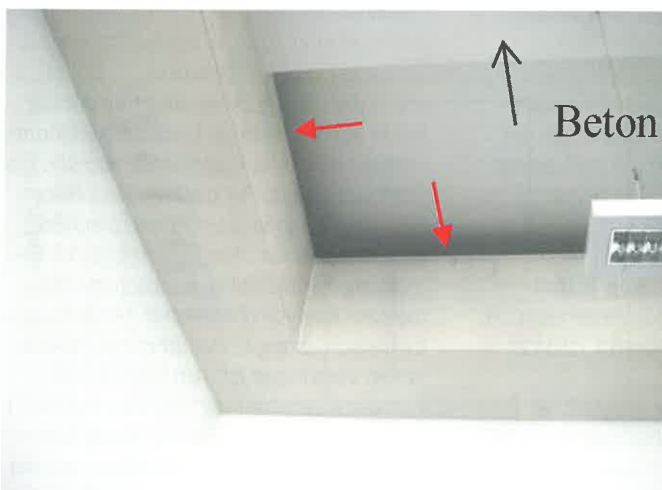
### Schlussfolgerungen

Die rasante Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien hat in vielen Arbeits- und Freizeitbereichen zu einem Anstieg der Schallpegel geführt, der die Effizienz und die Gesundheit gefährden kann. Gegen die wachsende Stimmgewalt, z. B. in Klassenzimmern, sind grundsätzlich zwei Strategien dringend notwendig: In [19] werden sehr überzeugend zum einen mögliche Erfolge von pädagogischen Maßnahmen quantifiziert. Zum anderen wird dort aber auch der deutlich noch stärkere Einfluss von breitbandig wirksamen raumakustischen Maßnahmen hervorgehoben, nämlich eine Reduktion von ca. 6 dB im Arbeitsgeräuschpegel bei Frontal- und über 13 dB bei Gruppenunterricht (gegenüber physikalisch zu erwartenden gut 3 dB!). Es ist nicht richtig, wenn immer wieder gefordert wird, möglichst große Flä-

chen mit den üblichen porösen/faserigen Materialien zu verkleiden und nur geklagt wird, dass nicht mehr Mittel dafür bereitgestellt würden. Die hier dargestellten Beispiele zeigen, dass man den Schwerpunkt der Maßnahmen schall- und bautechnisch so verlegen kann, dass eine effizientere Pegelminderung auf einer viel kleineren Fläche realisiert werden kann – zu Kosten, die weit unter den im Aufruf [4] genannten 50 € pro m<sup>2</sup> Grundfläche liegen können.

Man hat übrigens auch früher schon recht voluminöse, bis 30 cm dicke Absorberelemente (Akustik-Baffles, Akustik-Balken) nebeneinander unter schallharten Decken abgehängt (siehe z. B. [18], Tafel 6, Beispiele 3.3 – 3.8). Tatsächlich kam man damit bei entsprechend dichter Belegung für Frequenzen oberhalb 500 Hz auf Absorptionsgrade von über 1. Die enorme Steigerung der Tiefenabsorption gemäß Bild 5 und [13] durch eine Konzentration nur weniger solcher Elemente in den Raumkanten hielt man offenbar weder für möglich noch für nötig. Die mit einem Bruchteil des Materialaufwands erzielbaren Ergebnisse in den hier vorgestellten Beispielen, die teilweise öffentlich zugänglich sind, wollen zum Umdenken in der Lärmbekämpfung insbesondere in Bildungsstätten ermuntern. Damit ließe sich bei den stets vorgegebenen schmalen Budgets die Zahl der sanierbaren Räume erhöhen. In Fällen, wo hochfrequente Fremdgeräusche dominieren, kann man natürlich gemäß [13] (dort Bild 6) auch mehr als nur eine Abdeckung der Koffer perforieren.

Man muss allerdings konstatieren, dass nicht wenige der zu Recht von ihren Nutzern beanstandeten Räume bereits mit nicht richtig, bzw. nicht mehr ausreichend wirksamen Akustikdecken versehen wurden, was natürlich eine Hürde für ergänzende Maßnahmen darstellt. Vielleicht lässt sich aber die bei den mit so vielen Baumängeln kämpfenden Schulträgern verbreitete Frustration mit neuen Argumenten überwinden und auch durch [20] die Motivation steigern, sich dieses eskalierenden Problems anzunehmen.



**Bild 13** Der Decke in einem Besprechungszimmer zugewandter „verdeckter“ Kantenabsorber zur Verbesserung der Kommunikation und des Raumklangs.

Prof. Dr.-Ing. **Helmut V. Fuchs**,  
Dipl.-Phys. **Janna Lamprecht**,  
Forschungsgesellschaft für angewandte  
Systemsicherheit und Arbeitsmedizin,  
Mannheim.  
Prof. **Zha Xueqin**, Berlin

## Literatur

- [1] *Fuchs, H. V.*: Die neue EU-Richtlinie „Lärm“ und der Schallschutz für Musiker. *Lärmbekämpf.* 2 (2007) Nr. 6, S. 217-224.
- [2] *Sürder, H. P. F.*: Ein Plädoyer für leise Schulen. *Z. Lärmbekämpf.* 53 (2006) Nr. 3, S. 69.
- [3] *Fuchs, H. V.*: Weniger Lärm in Kommunikations- und Schulungsräumen. *Lärmbekämpf.* 1 (2006) Nr. 2, S. 47-56.
- [4] *Richter, B.*: Lärm in der Schule. *Lärmbekämpf.* 6 (2011) Nr. 4, S. 171-174.
- [5] *Fuchs, H. V.; Zha, X.*: Zur Lösung akustischer Probleme bei tiefen Frequenzen. *Lärmbekämpf.* 2 (2007) Nr. 3, S. 108-113.
- [6] *Fuchs, H. V.*: Schallabsorber und Schalldämpfer. Berlin: Springer 2010. [www.ScientificCommons:hvfuchs](http://www.ScientificCommons:hvfuchs)
- [7] *Blutner, F.; Weißing, H.*: Schallwahrnehmung. In: *Fasold, W.; Kraak, W.; Schirmer, W.* (Hrsg.): Taschenbuch Akustik. Berlin: Verlag Technik 1984.
- [8] Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden. Hrsg.: Umweltbundesamt. Berlin 2008. [uba@broschuerenversand.de](mailto:uba@broschuerenversand.de)
- [9] *Becker, B.*: Raumakustische Sanierung einer Grundschule. *Lärmbekämpf.* 1 (2006) Nr. 2, S. 57-58.
- [10] *Kirchner, T.*: Raumakustik in Berliner Klassenräumen im Vergleich mit internationalen Normen. In: 36. Jahrestagung DAGA 2010, Berlin, S. 937-938.
- [11] *Niermann, A.; Sprenger-Pieper, A.*: Akustik an der richtigen Stelle. *Trockenbau Akustik* 26 (2009) Nr. 10, S. 22-26.
- [12] *Becker, B.*: An den Rändern die Tiefe geschluckt. *Trockenbau Akustik* 26 (2009) Nr. 11, S. 42-44.
- [13] *Fuchs, H. V.; Lamprecht, J.; Zha, X.*: Zur Steigerung der Wirkung passiver Absorber: Schall in Raumkanten schlucken! *Gesundheits-Ingenieur* 132 (2011) Nr. 5, S. 240-250.
- [14] *Everest, F. A.*: The master handbook of acoustics. New York: McGraw-Hill 1994.
- [15] *Fuchs, H. V.; Zha, X.*: Wirkungsweise und Auslegungshinweise für Verbund-Platten-Resonatoren. *Z. Lärmbekämpfung* 43 (1996) Nr. 1, S. 1-8.
- [16] *Fuchs, H. V.; Zha, X.; Zhou, X.; Drotleff, H.*: Creating low-noise environments in communication rooms. *Appl. Acoustics* 62 (2001) Nr. 2, S. 1375-1396.
- [17] *Tiesler, G.; Oberdörster, M.*: Lärm in Bildungsstätten. Schriftenreihe Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund 2006.
- [18] *Fasold, W.; Sonntag, W.; Winkler, H.*: Bau und Raumakustik. Berlin: Verlag Bauwesen 1987.
- [19] *Tiesler, G.*: Lärmbekämpfung in Bildungsstätten. *Lärmbekämpf.* 7 (2012) Nr. 4, S. 201-202.
- [20] *Fuchs, H. V.; Jäcker-Cüppers, M.*: Im Focus: Klassenraum-Akustik. *ALD-Newsletter* Nr. 11. [www.ald-laerm.de](http://www.ald-laerm.de)

## Literaturschau

Auch im Zeitalter der Informationsgesellschaft sind Fachinformationen in den verschiedenen Medien sehr verstreut anzutreffen und teilweise nur durch spezielle Recherchen nutzbar zu machen. Um den Lesern eine kleine Hilfestellung zu geben, bemühen wir uns, mit nachstehender Rubrik auf bemerkenswerte Publikationen und Nachrichten aus Zeitungen und Zeitschriften aufmerksam zu machen. Mit diesem Service kann jedoch keine umfassende Information sichergestellt werden.

### Die schalltechnische Überplanung von bebauten Gewerbe- und Industriegebieten mit Emissionskontingenten.

*A. Versteyl, J. Storr, G. Schiller.* I+E – Zeitschrift für Immissionsschutzrecht und Emissionshandel. (2011) Nr. 4, S. 163-171.

Bei einer Neuaufstellung von Bebauungsplänen für Gewerbe- oder Industriegebiete stellt sich oftmals die Frage nach einem wirksamen Lärmschutz für umliegende Wohnnutzungen. Um zu verhindern, dass durch die anzusiedelnden Gewerbebetriebe das zulässige Lärmschutzniveau überschritten wird, kann im Be-

bauungsplan eine Geräusch-Emissionskontingentierung auf der Grundlage der „DIN 45691 Geräuschkontingentierung“ festgesetzt werden.

### Akustisches Verhalten von Kunststoffen.

*W. Michaeli, C. Hopmann, H. Kremer, H.* Konstruktion 64 (2012) Nr. 6, S. 5-7.

Aufgrund verschärfter gesetzlicher Bestimmungen zum Schallschutz und gestiegener Kundenansprüche gewinnt die akustische Bauteilauslegung zunehmend an Bedeutung. Dabei werden zur Verkürzung

von Entwicklungszeiten und Einsparung teurer experimenteller Untersuchungen immer mehr Simulationsverfahren wie die FEM eingesetzt. Für qualitativ hochwertige Simulationen werden entsprechend genaue Materialdaten benötigt, deren Ermittlung mittels der dynamisch-mechanischen Analyse (DMA) und Zeit/Temperatur-Verschiebung (ZTV) oft mit Schwierigkeiten verbunden ist. Am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen wird zur Ermittlung dieser Materialdaten ein neuartiges Verfahren auf der Basis einer Reverse-Engineering-Prozedur entwickelt.